

Dottorato di Ricerca in
Scienze Ambientali: Tutela e Gestione delle Risorse Naturali - XIX Ciclo
BIO/03 Botanica ambientale e applicata

**ECOLOGIA DEL LIMITE ALTITUDINALE DEL BOSCO
NELL'APPENNINO SETTENTRIONALE:
UN APPROCCIO DENDROCRONOLOGICO**

Presentata da
Dott.ssa Silvia Magnani

Coordinatore:
Prof. Carlo Ferrari

Tutore e Relatore:
Prof. Carlo Ferrari

A mio nonno

Indice

Introduzione	5
1. Il limite altitudinale degli alberi come problema ecologico	7
1.1 Limite altitudinale degli alberi e limite del bosco	7
1.2 Limite del bosco e fattori ambientali	9
1.3. Limiti ambientali nelle aree montuose.	10
1.3.1 Gli effetti delle basse temperature	10
1.3.2 Altri fattori	11
2. L'Appennino settentrionale	13
2.1 Gli Appennini: inquadramento geologico	13
2.1.1 Il settore toscano-emiliano	14
2.2 Caratterizzazione geomorfologica	15
2.3 La vegetazione dell'alto Appennino	16
3. Il limite del bosco dell'Appennino settentrionale. <i>Fagus sylvatica</i>	24
3.1 Ecologia del faggio	25
3.2 Il faggio nell'Appennino settentrionale, versante padano.	26
3.2 Distribuzione del limite del bosco	28
4. Caratterizzazione termica dell'alto Appennino settentrionale	30
4.1 Precipitazioni	30
4.2 Umidità e venti	31
4.3 Temperatura	31
5. La Dendrocronologia come metodo di analisi ambientale	35
5.1 Le basi della dendrocronologia	35
5.2 Applicazioni	37
5.3 Dendrocronologia e segnali climatici: dendroclimatologia	38
6. Aree di studio e metodo di campionamento	41
6.1 Aree di studio	42
6.1.1 Il Monte Rondinaio	42
6.1.2 Il Monte Giovo	43
6.1.3 Il Monte Prado	44
6.1.4 Il Monte Cusna	45
6.2 Il campionamento	47
7. Analisi dendrocronologiche	48
7.1 Preparazione dei campioni	48

7.2 Datazione e misura dell'ampiezza anulare	49
7.3 Cross-datazione	50
7.4 Analisi statistica dei dati	52
7.5 Dati meteorologici	55
7.6 Relazioni clima-accrescimento	56
8. Risultati	59
8.1 Età degli alberi	59
8.2 Età delle plantule	64
8.3 Età dei ginepri	66
8.4 Cronologie	67
8.5 Analisi dei <i>pointer years</i>	73
8.6 Correlazioni con il clima	75
8.7 Funzioni di risposta	78
Discussione e conclusioni	79
Bibliografia	82

Introduzione

Il limite altitudinale del bosco è un visibile e importante confine ecologico, che esprime la distribuzione spaziale di fattori climatici limitanti la crescita, lo sviluppo e la rigenerazione di alberi (Crawford, 1989; Körner, 1998). Le specie arboree interessate dal fenomeno sono differenti nelle diverse regioni della Terra. In alcune il limite è formato da conifere sempreverdi, in altre da latifoglie decidue. La forma di questo limite dipende dall'appartenenza degli alberi più elevati in quota all'uno o all'altra di queste forme biologiche.

E' stato sottolineato che la variazione per cause climatiche del limite altitudinale del bosco è un fenomeno che si attua su scale temporali e spaziali più ampie di quelle che interessano variazioni di altre forme di vegetazione (Holtmeier, 2001). In questo senso, le variazioni del limite altitudinale del bosco sono risposte ecologicamente molto significative a variazioni climatiche di medio-lungo periodo.

Nell'ambito dell'analisi degli effetti biologici dei cambiamenti climatici in atto sul nostro pianeta un contributo significativo può essere fornito dall'analisi del pattern spaziale del limite altitudinale della vegetazione forestale, con particolare attenzione allo studio delle cause, climatiche e non, che hanno portato alla sua formazione.

Nel contesto degli studi dedicati agli effetti biologici delle variazioni climatiche in atto da qualche decennio, si inserisce questa ricerca sul pattern spaziale del limite altitudinale del bosco di faggio (*Fagus sylvatica* L.) nell'Appennino settentrionale e sulla sua storia recente.

Mentre gli studi dedicati al limite altitudinale formato da conifere sono ampiamente sviluppati da decenni sulle catene montuose europee e nord-americane, la ricerca sull'ecologia del limite altitudinale formato da latifoglie decidue, come il faggio, non ha avuto sinora sviluppi su ampia scala. Questa ricerca fa parte del primo programma dedicato allo studio ecologico del limite altitudinale del bosco di faggio nell' Appennino settentrionale, un tratto della catena appenninica che segna il confine meridionale in Italia della regione bioclimatica centroeuropea, nella quale è centrata la distribuzione geografica del faggio.

La ricerca si è svolta mediante l'integrazione di analisi dendrocronologiche con l'analisi dei cambiamenti termici dell'atmosfera. La localizzazione bioclimatica, e biogeografica dell'area di studio aggiunge un ulteriore motivo di interesse ai risultati, fornendo informazioni sulle risposte del faggio alle più recenti variazioni del clima locale. Tali

risposte potranno consentire di individuare possibili scenari di medio periodo sulla vegetazione delle quote più elevate di questa catena montuosa.

1. Il limite altitudinale degli alberi come problema ecologico

1.1 Limite altitudinale degli alberi e limite del bosco

Un primo approccio allo studio del limite del bosco non può prescindere da quelli che sono i tratti morfologici salienti di questo confine.

Indipendentemente dalle cause che hanno portato alla sua costituzione, si possono individuare due formazioni principali che caratterizzano il limite altitudinale degli alberi.

In un primo caso esso è rappresentato da una zona di transizione lungo la quale si nota il passaggio dalla foresta ad alberi isolati che mantengono la forma eretta, ad alberi isolati di forma cespugliosa e contorta: questa morfologia caratterizza la fascia degli arbusti contorti (*krummholz*). Con il termine *krummholz* si indicano alberi che, a causa della rigidità dei fattori climatici (vento, neve, gelo), non riescono più a mantenere la forma eretta e quindi presentano morfologie contorte, piegate, con stature estremamente ridotte rispetto a quelle caratteristiche della specie. Il limite degli alberi diventa quindi una zona di cambiamenti gradualmente all'interno della quale possiamo individuare un confine della foresta cui seguono una zona di individui isolati ed eretti e una terza zona, che rappresenta il vero e proprio limite degli alberi, formata dalla fascia degli arbusti contorti (Fig. 1.1).

Il limite degli alberi si caratterizza come una zona di transizione tra la foresta e la vegetazione oltre questo limite, dove agiscono fattori di stress ecologico per le specie arboree. Un vero e proprio ecotone.

Le cause di questo ecotone sono da ricercarsi nelle caratteristiche biologiche delle specie arboree che lo formano. Una zona di transizione è tipica di specie arboree sensibili nell'età adulta (Crawford, 1989). Le plantule, infatti, riescono ad affrontare climi rigidi grazie alla copertura nevosa che protegge i germogli da temperature troppo basse e dall'essiccazione causata dal vento invernale. Quando l'individuo cresce in altezza la copertura nevosa non è più in grado di riparare i nuovi germogli, che quindi muoiono. Sotto la pressione fisica di fattori esogeni si arriva così gradualmente alla formazione di arbusti contorti.

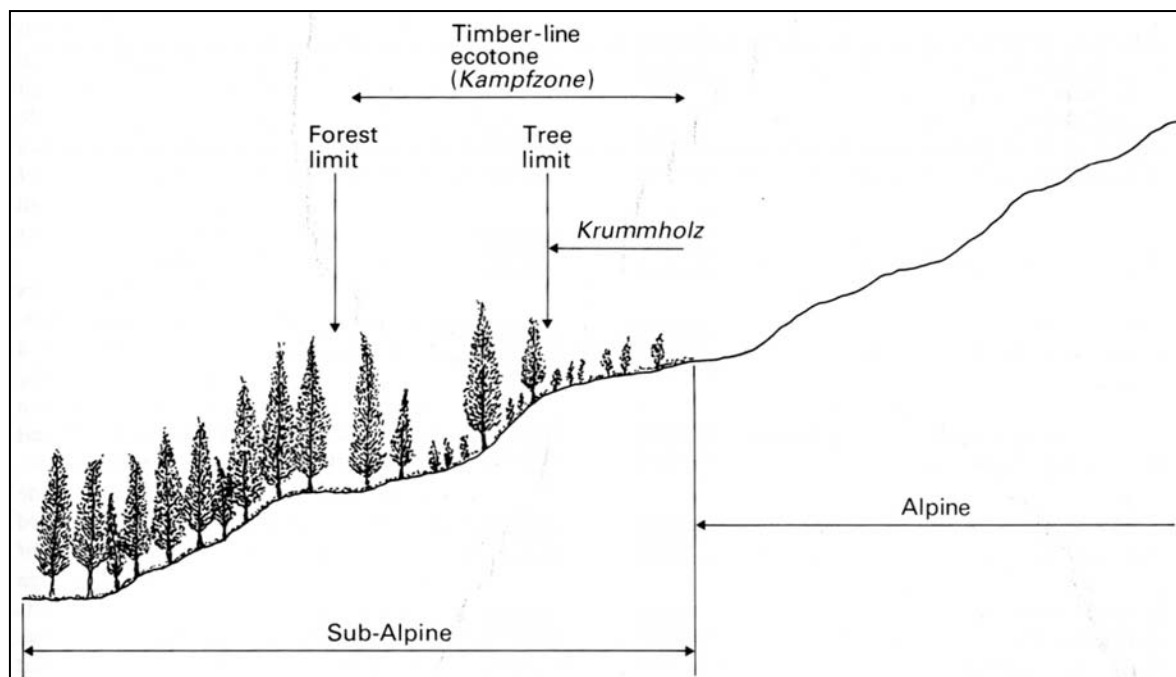


Figura 1.1. Limite del bosco formato da conifere. Si possono identificare le tre zone tipiche di questo tipo di formazione: il limite del bosco, una zona di transizione con alberi isolati, una fascia popolata da arbusti contorti (*krummholz*).

Una morfologia completamente diversa si riscontra invece nel caso in cui la fase più sensibile della crescita della pianta è quella di plantula. In questo caso, infatti, il nuovo individuo per svilupparsi necessita della protezione fornita dagli individui adulti e cresce quindi sotto la chioma degli alberi già maturi. In questo modo il limite della foresta si presenta come un fronte compatto, senza cioè la presenza di alberi isolati, in cui il limite del bosco coincide con il limite degli alberi (Fig. 1.2). Solitamente questo tipo di confine è formato da latifoglie o da alberi che tollerano l'ombra (Wardle, 1974).

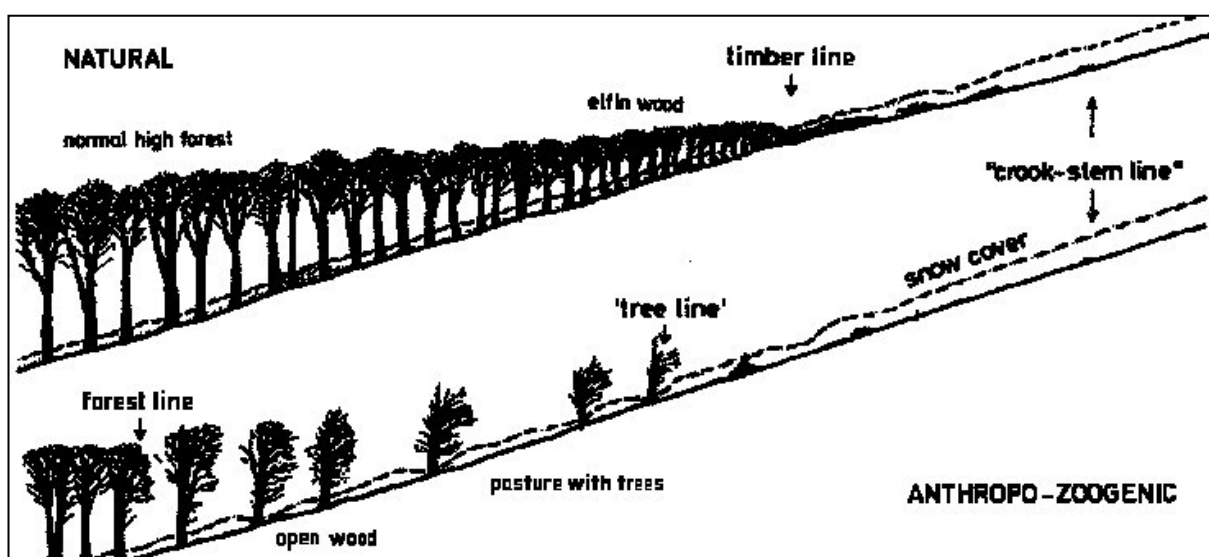


Figura 1.2. Il limite del bosco sul Monte Prado, nell'Appennino reggiano. Visibile il fronte compatto tipicamente formato dalla specie *Fagus sylvatica*.

1.2 Limite del bosco e fattori ambientali

Sono stati intrapresi numerosi studi tesi a individuare le possibili cause della formazione del limite degli alberi (Daubenmire, 1954; Ferrar et al., 1988; Grace, 1990; Rochefort et al. 1994; Wardle, 1971; Wardle, 1981).

L'approccio più usato integra l'analisi dei fattori climatici (temperatura dell'aria, vento e neve) con un'analisi del contesto geomorfologico e climatico locale, che determina condizioni uniche e caratteristiche dell'area di studio. In tali condizioni rientrano la temperatura del suolo e i caratteri del suolo. Sono escluse da queste ricerche tutte le aree dove il limite altitudinale del bosco è chiaramente determinato da interventi recenti dell'uomo o che sono state soggette a disturbi accidentali (fuochi, valanghe); tali aree, infatti, non sono rappresentative di una situazione generale e non sono quindi di aiuto nel definire i possibili fattori naturali che, interagendo con le caratteristiche biologiche delle specie arboree, determinano il limite del bosco.

Questi studi hanno permesso di delineare quali sono le cause principali della formazione del limite su scala locale. L'importanza dei fattori microstazionali è stata più volte sottolineata da diversi autori (Holtmeier et al. 2003; Aude & Lawesson, 1998).

Data la riconosciuta importanza del fattore "temperatura" (sia temperatura dell'aria che temperatura del suolo) come causa principale, vi sono molteplici i tentativi volti alla ricerca di una correlazione significativa fra l'andamento della temperatura e la crescita degli alberi. In particolare si cercano evidenze di un possibile avanzamento, sia in altitudine che in latitudine, del bosco dato dall'aumento di temperatura che ha interessato il nostro pianeta negli ultimi cinquanta anni.

Una complicazione al problema però arriva dalla possibilità che le variazioni climatiche non siano in grado di portare modificazioni sostanziali nell'assetto del sistema boschivo, data la grande resilienza di questo. Può quindi esserci una separazione temporale di notevole entità fra la variazione di temperatura che interessa il nostro pianeta e una possibile risposta da parte della vegetazione, che potrebbe quindi farsi attendere ancora molti anni prima di diventare apprezzabile.

Rimane infine da sottolineare che, stando alle attuali conoscenze, le fluttuazioni del limite del bosco negli ultimi 10.000 anni sono state molto al di sotto (meno di 200 m) di quanto ci si sarebbe potuti aspettare data l'entità dei cambiamenti climatici. Attualmente il limite degli alberi è solo leggermente depresso (100 m circa) rispetto al *maximum* post glaciale (Körner, 1998). Eventuali variazioni nella quota del limite potrebbero quindi dimostrarsi molto deboli e quindi difficili da stimare.

1.3. Limiti ambientali nelle aree montuose.

I problemi ecologici legati alla rigenerazione della foresta al limite del bosco vanno affrontati sotto diversi punti di vista.

1.3.1 Gli effetti delle basse temperature

La temperatura dell'aria incide in modo sia diretto che indiretto sulle possibilità di vita degli alberi. Temperature basse provocano una diminuzione della lunghezza del periodo vegetativo, attraverso una riduzione dell'*uptake* di CO₂ e, quindi, un calo del tasso di fotosintesi. Per questo motivo la temperatura è sempre stata considerata il fattore chiave per una corretta lettura delle cause che determinano la formazione del limite (Briffa et al., 1998; Hättenschwiler & Körner, 1995; Kullman, 2001; Skre, 1993).

Tranquillini (1979) ritiene che un fattore determinante per la creazione del limite del bosco sia il bilancio di calore, e in particolare sostiene che il limite si formi a causa della crescente negatività di tale bilancio via via che si percorre la strada verso il limite. Il bilancio di calore si riflette a sua volta sulla lunghezza della stagione vegetativa: l'allungarsi di periodi freddi determina una riduzione del periodo vegetativo e quindi la pianta non è in grado di completare il suo ciclo di sviluppo e di terminare la formazione della cuticola fogliare, indispensabile per difendere l'albero dagli attacchi del gelo invernale. Tuttavia, la lunghezza o brevità della stagione vegetativa non può essere considerata una causa della formazione del limite su scala globale. Allo stesso modo, numerosi studi hanno dimostrato che il tasso di fotosintesi subisce solo piccole variazioni e che l'*uptake* di CO₂ non è un fattore limitante (Grace, 2002; Körner, 1998).

E' già conosciuta su scala mondiale la relazione fra *treeline* e altitudine, secondo la quale il limite degli alberi si posizionerebbe all'altitudine a cui corrisponde l'isoterma del mese più caldo di 10°C (Holtmeier, 1974; Grace, 1977).

Oltre a quello appena menzionato, sono stati portati avanti molti altri tentativi con lo scopo di cercare correlazioni dirette e significative fra la temperatura e il limite del bosco, sia su scala globale che regionale. Ohsawa (1990) ha dimostrato che nei tropici dell'est asiatico il limite superiore della foresta, dominata da specie sempreverdi, coincide con la media mensile e annuale della temperatura pari a 6/7 °C; Takahashi riporta, per la foresta di betulle che si trova nelle Hida Mountains a una quota di 2350 m, una media del mese più caldo di 13 °C; infine Aulitzky (1961) ha registrato nelle Alpi centrali, a una quota di 2100 m, una temperatura del mese più caldo pari a 9,5 °C. Ciò nonostante rimane evidente l'importanza della temperatura come fattore dominante per la

formazione del limite, ma non ci sono certezze che ne attestino il valore esatto e la rispondenza su scala globale.

1.3.2 Altri fattori

Gli effetti della temperatura dell'aria vanno considerati come una componente di un quadro climatico ed ecologico complesso, proprio degli ambienti montani.

In primo luogo è necessario prendere in considerazione il fatto che con l'aumentare della quota diminuisce la capacità riproduttiva dell'albero, fino a livelli pari al 5% della produzione in normali condizioni (Crawford, 1989). Una volta prodotto, il seme deve sopravvivere sia agli agenti esogeni sfavorevoli (temperature basse, gelo, vento), sia alla predazione da parte di animali.

La copertura nevosa durante i mesi invernali ha come effetto principale quello di proteggere i nuovi germogli dal gelo e dal freddo; in questo senso, quindi, promuove la formazione e la crescita di nuovi individui.

Nevicate eccessive al limite del bosco hanno però come effetto preponderante il prevenire lo stabilirsi di alberi in aree dove le temperature risultano adeguate per la loro crescita. Coperture nevose che durano fino alla tarda primavera infatti accorciano in maniera drastica la stagione vegetativa e quindi la possibilità della pianta di riprodursi e di tutelarsi contro il successivo gelo invernale (Arno, 1984).

Anche i danni provocati dalle gelate possono influenzare e ostacolare la crescita degli alberi. Questo tipo di lesioni interessano per lo più i piccoli germogli, dal momento che questi, crescendo, incrementano la loro tolleranza al freddo e sono quindi in grado di sopportare meglio le gelate tardive (Wardle, 1993). Il riferimento alle "gelate tardive" tende a sottolineare come, in climi temperati, non siano tanto le rigide temperature invernali ad arrecare danni agli alberi quanto quelle del periodo estivo-primaverile. In climi tropicali, invece, le gelate possono occorrere, durante nottate limpide, durante tutto l'anno. In entrambi i casi, comunque, le gelate non mettono in pericolo la vita degli alberi, ma contribuiscono, al massimo, a modificare la crescita delle piante su scala annuale (Tranquillini, 1982; Sakai & Larcher, 1987).

Nelle aree montuose è importante considerare gli effetti del vento e la loro importanza nella formazione del limite degli alberi (Tranquillini, 1979; Sakai, 1970; Hadley et al. 1983).

Il vento agisce sulla pianta essenzialmente in due modi (Arno, 1984): in primo luogo causando danni meccanici ai rami e alla corona; in seconda istanza divenendo causa, durante il periodo invernale, di un fenomeno che è stato considerato per molti anni uno dei motivi principali della formazione del limite del bosco, la "*winter desiccation*"

(essiccazione invernale). Nel periodo invernale, folate improvvise di vento secco possono determinare l'evaporazione dello strato di brina che ricopre gli alberi, con conseguente perdita di acqua. Le radici, pressoché congelate e quindi funzionanti in modo limitato, non sono in grado di sopperire, se non parzialmente, alla perdita di acqua e si giunge quindi a una sorta di disidratazione con danni ad aghi e rami. Tuttavia, alla luce delle numerose ricerche effettuate in questo campo, si può asserire che il fenomeno indicato come "essiccazione invernale" colpisce per lo più i giovani alberi e diminuisce con l'aumentare dell'età e delle dimensioni dei rami (Körner, 1998). Inoltre, il fenomeno non è comune a tutti i limiti degli alberi ma, anche nelle zone temperate, è localizzato solo su alcune aree (Sakai, 1970; Slatyer, 1976; Grace, 1990).

2. L'Appennino settentrionale

2.1 Gli Appennini: inquadramento geologico

La catena appenninica si sviluppa dal Passo di Cadibona (al confine fra Piemonte e Liguria) all'Aspromonte in Calabria ed è costituita da due grandi settori separati tra loro dalla linea Ortona-Roccamorfin: l'Arco settentrionale (Monferrato-Lazio Abruzzo), a direzione strutturale predominante NW-SE, e l'Arco meridionale (Abruzzo Molise-Sicilia), a direzione strutturale predominante NE-SW. L'Appennino settentrionale è quindi tradizionalmente compreso tra la linea Sestri-Voltaggio e la linea Ancona-Anzio.

L'Appennino è una catena collisionale formatasi tra il Cretaceo superiore e il Miocene superiore, in seguito alla collisione tra il margine europeo e quello africano. La sua struttura generale è formata da unità tettoniche che appartengono a grandi *Dominii paleostrutturali*: Dominio Oceanico, Dominio Austroalpino, Dominio Toscano e Dominio Umbro-Marchigiano (Tellini, 1992).

Il Dominio Oceanico, all'interno del quale si possono individuare la zona Piemontese e la zona Ligure, è contraddistinto dalla presenza di diverse unità tettoniche: quella Europea, quella Adriatica e quelle Liguri. Tra queste, quelle che presentano i tratti più significativi sono le unità tettoniche Liguri, suddivise a loro volta in unità esterne ed interne, caratterizzate dalla presenza di rocce di tipo oceanico (ofioliti, diaspri) negli strati basali e dall'assenza di rocce più antiche del Malm (Giurassico superiore). Le unità interne sono rappresentate da una sequenza ofiolitica giurassica ben sviluppata con basamento di ultramafiti, complesso gabbriico e complesso vulcano-sedimentario; al di sopra di questa sequenza si sviluppa una successione sedimentaria di tipo oceanico costituita da diaspri e calcari. Le unità esterne, invece, sono caratterizzate da una successione di formazioni argillose basali del Cretaceo cui seguono argille variegata o arenarie alternate ad argille.

Il Dominio Austroalpino rappresenta il margine continentale a oriente della zona Ligure. A questo dominio appartengono tre unità tettoniche (Cala Piatti, Pseudoverrucano, Unità delle "Argille e Calcari"), disposte in una successione stratigrafica che comprende in prevalenza formazioni terziarie delle quali resta difficile individuare la base.

Il Dominio Toscano è formato da successioni mesozoico-terziarie, deposte su un basamento continentale sialico del Paleozoico, interessate da deformazioni e metamorfismo ercinico. Si suddivide in 4 zone (Zona di Massa, Zona Apuana, Zona

Toscana Esterna, Zona Umbro-Marchigiana) le cui successioni sedimentarie formano l'ossatura della catena appenninica e rappresentano la copertura sedimentaria dello zoccolo continentale appenninico (Tellini, 1992).

Il Dominio Umbro-Marchigiano, che rappresenta la parte più esterna dell'Appennino settentrionale, è costituito infine da una successione mesozoico terziaria scollata al livello delle evaporiti.

2.1.1 Il settore toscano-emiliano

Con "Appennino toscano-emiliano" si indica quella parte dell'Appennino settentrionale che si estende dal Passo della Cisa, a NO, fino al Passo della Collina, a SE (Fig. 2.1). La catena in questo tratto è orientata da O-NO a E-SE con numerosi rilievi disposti in direzione perpendicolare rispetto all'andamento principale, quindi in direzione SO-NE. L'Appennino è caratterizzato dalla morbidezza dei lineamenti dovuta alla tipologia di rocce, facilmente erodibili, che formano la catena (Carton, 1992). Il crinale di questo tratto del rilievo rimane per lo più al di sopra dei 1700 m, ma solo alcune cime superano, di poco, i 2000 m (M. Cimone, 2165; M. Prado, 2054; M. Cusna, 2120).

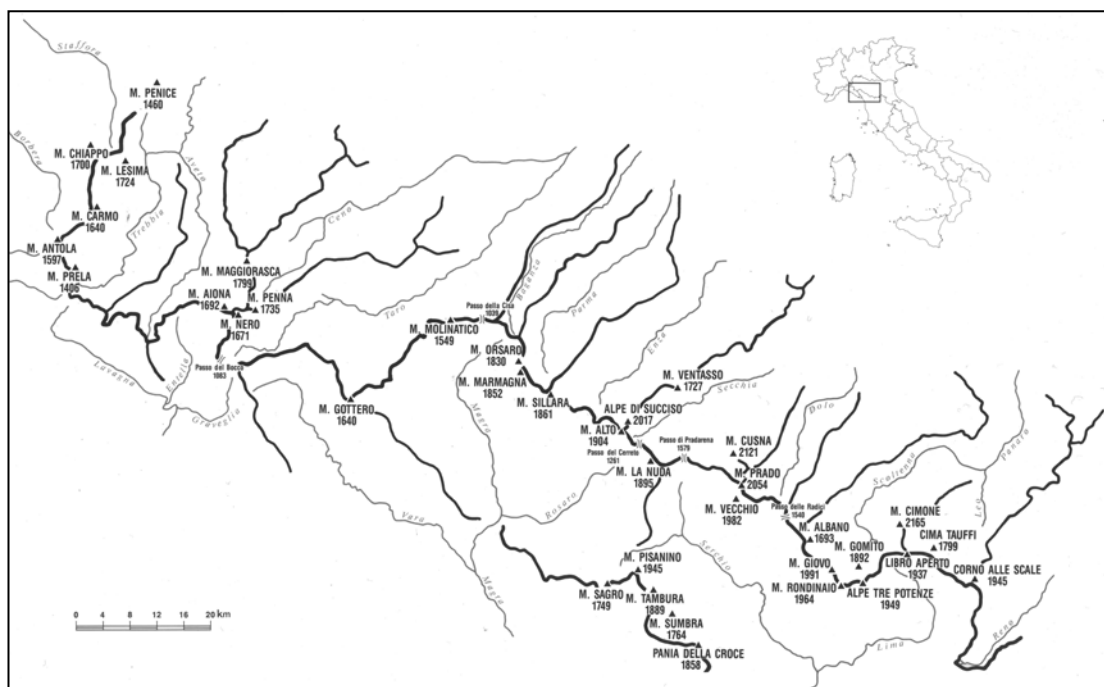


Figura 2.1. Inquadratura del crinale dell'Appennino toscano-emiliano.

Con particolare riferimento al versante emiliano, che si affaccia sulla Pianura Padana, si possono individuare, dal punto di vista litologico, tre zone parallele: le colline a ridosso della pianura, la zona intermedia di bassa montagna e la catena dell'alto Appennino. Il substrato geologico di quest'ultima zona è costituito da arenarie dell'Oligocene e del

Miocene Inferiore (note con il nome di *Macigno*), da arenarie e marne dell'Oligocene superiore e da marne e marne siltose di età oligocenica-miocenica (Ferrari, 1993).

2.2 Caratterizzazione geomorfologica

Le figure morfologiche che si incontrano lungo un determinato percorso sono strettamente correlate alle caratteristiche litologiche e tettoniche dell'area considerata. Nel nostro caso, l'Appennino tosco-emiliano è caratterizzato da una grande varietà di litotipi (rocce arenacee, calcaree, marnose, argillose) che danno vita a forme geomorfologiche diverse. L'area fu sottoposta, nel Quaternario, alle glaciazioni; fra queste, il Würm ha lasciato segni evidenti di quelle che sono considerate le tipiche tracce di fenomeni glaciali (circhi glaciali, depositi morenici).

La forma originale dei circhi, semicircolare, scavata nei fianchi rocciosi dei rilievi e con fondo subpianeggiante, è più o meno alterata da processi di degradazione o da forme di accumulo.

Gli archi morenici, con la tipica forma ad arco, sono particolarmente importanti perché indicano la posizione raggiunta da una lingua glaciale al massimo dell'espansione. Tuttavia, la forma originaria è stata spesso modificata da frane o da fenomeni erosivi che sono anche la causa di frequenti interruzioni dell'arco morenico.



Figura 2.2. Campo di pietre sulla cresta del Monte Giovo–Monte Rondinaio.

Le caratteristiche geomorfologiche dell'Appennino non si possono però ridurre alle tracce lasciate dai ghiacciai. Sono evidenti infatti anche segni di fenomeni periglaciali, alcuni dei quali tuttora attivi, dovuti a processi di degradazione criogenici, quindi causati da lunghe alternanze di gelo-disgelo.

Questa tipologia di fenomeni interessa per lo più le alte quote, nel nostro caso quindi la fascia di crinale, e si manifesta con depositi accumulati per geliflusso, con falde detritiche o con "campi di pietre" (Fig.2.2): distese di massi di arenaria, a spigolo vivo, allungate sulle testate dei circhi (Francavilla, 1988).

Strettamente correlata alle forme tipiche geomorfologiche di queste zone è la vegetazione d'altitudine.

2.3 La vegetazione dell'alto Appennino

Il crinale dell'Appennino tosco-emiliano occupa una posizione di confine fitogeografica e bioclimatica tra la vegetazione centroeuropea e quella mediterranea (Tomaselli, 1970; Pignatti, 1979). Questa posizione di frontiera si avverte in particolare alle quote più elevate, dove cominciano a rarefarsi molte specie vegetali di tipo centroeuropeo che hanno qui il limite meridionale del loro areale di distribuzione. I locali mutamenti climatici in relazione alle quote danno origine a una variazione dei tipi di vegetazione potenziale che si distribuiscono sui versanti delle montagne entro ambiti altitudinali caratteristici, le cosiddette fasce di vegetazione. In quest'area sono individuabili quattro distinte fasce di vegetazione, di seguito brevemente descritte, disposte lungo un gradiente altitudinale (Ferrari, 1997).

Fascia dei querceti misti xerofli (fascia submediterranea): nelle colline sublitorali romagnole e nella Romagna interna. Questa tipologia di querceti diventa sempre più rara andando verso l'Emilia occidentale.

Fascia dei querceti mesofili: interessa gran parte del territorio regionale, dalla costa fino ad una quota di 800-1000 m circa.

Fascia dei faggeti: si estende da 800-1000 m di quota fino al limite della vegetazione arborea (1700-1800 m).

Fascia degli arbusteti a mirtilli: oltre il limite del bosco sino alle quote più elevate.

Nel corso del presente studio verrà dato particolare rilievo alla vegetazione che forma le due fasce più elevate in quota. Di seguito si riportano le caratteristiche principali della vegetazione soprasilvatica, ovvero della fascia di vegetazione oltre il limite altitudinale dei faggeti.

L'estensione della vegetazione soprasilvatica dipende dalla quota del limite del bosco da un lato e dalla quota del crinale dall'altro. Considerato che il limite del bosco è

compreso tra 1700 e 1800 m di quota, anche se il crinale si estende prevalentemente al di sopra di 1800 m, è evidente che l'estensione in altitudine di questa fascia è abbastanza ridotta. Essa, tuttavia, si estende con notevole continuità in tutto il settore tosco-emiliano, dalla valle del Parma a nord-ovest, sino a quella del Dardagna a Sud-est.

Questa fascia di vegetazione è caratterizzata da un'elevata ricchezza di specie (se confrontata con il numero di quelle che popolano le sottostanti fasce di vegetazione) e dal valore fitogeografico di molte di esse. La diversità specifica è sostenuta da un elevato numero di habitat favoriti dalle geomorfologie, quali circhi glaciali, falde detritiche, depositi morenici, campi di pietre, ognuno dei quali seleziona aggregazioni di specie (comunità vegetali) esclusive, composte in prevalenza da specie appartenenti ai corotipi endemico, circumboreale, artico-alpino, eurosibirico, eurasiatico, europeo e orofitico centro-europeo (Tomaselli & Agostini, 1994a).

L'elemento endemico è rappresentato da poche specie. L'Appennino settentrionale, a differenza della Alpi Apuane, è povero di specie esclusive (endemiti nordappenninici), la cui origine risale ragionevolmente a fenomeni di speciazione pleistocenica: *Cirsium Bertolonii*, *Primula apennina*, *Saxifraga etrusca*. Più numerosi sono gli endemiti appenninici, fra cui *Festuca robustifolia*, *Linaria purpurea*, *Saxifraga latina*, e le specie che hanno il loro areale in catene montuose limitrofe e che nell'Appennino settentrionale hanno un limite geografico, come gli endemiti alpici (*Campanula spicata*, *Cirsium morisianum*, *Geranium argenteum*) e gli endemiti apuani (*Globularia incanescens*, *Leontodon anomalus*, *Thesium sommieri*).

L'elemento mediterraneo-montano comprende specie che hanno i centri di origine nella penisola iberica, italiana e balcanica e che sono poco rappresentate in Appennino. Si ricordano *Dianthus sylvestris*, *Arenaria bertolonii*, *Carex macrolepis*.

L'elemento orofitico centro-sudeuropeo è quello maggiormente rappresentato nell'area in esame ed è costituito da specie localizzate sui principali rilievi montuosi centroeuropei (Pirenei, Alpi, Carpazi) con irradiazioni su Spagna, Italia e Balcani. Alcuni esempi sono dati da *Artemisia umbelliformis*, *Rhododendron ferrugineum* e *Astrantia minor*.

L'elemento artico-alpino è formato da specie, fra cui si citano *Vaccinium gaultherioides*, *Eriophorum scheuchzeri* e *Cerastium alpinum*, il cui areale disgiunto comprende le regioni artiche e le montagne delle zone temperate.

Infine, l'elemento circumboreale, che comprende specie distribuite nelle regioni boreali di Europa, Asia e Nordamerica, è diffuso in Appennino soprattutto in vaccinieti, torbiere e pietraie stabilizzate. Alcuni rappresentati esemplificativi dell'elemento sono *Vaccinium myrtillus*, *Calluna vulgaris* e *Trichophorum caespitosum*.

Complessivamente, la vegetazione dell'alto Appennino tosco-emiliano, oltre il limite del bosco, ha un elevato valore biologico per la presenza di numerose specie che su

questo tratto della catena e in questa fascia altitudinale hanno piccole popolazioni al margine dell'area di distribuzione geografica della specie, con episodi di "pseudorarietà" o "rarietà marginale" (Rabinowitz, 1981).

Vegetazione delle pareti rocciose

La rupe rappresenta uno degli ambienti più ostili per la colonizzazione da parte della vegetazione. L'estrema ripidità delle pareti incide in maniera significativa sulla disponibilità idrica, tanto da privilegiare la colonizzazione da parte di specie dotate di foglie carnose e succulente con funzione di riserva d'acqua. Fattori determinanti per lo sviluppo vegetale sono l'esposizione e il tipo di roccia che forma la parete (nel nostro caso è evidente una netta prevalenza di arenaria). L'esposizione incide in maniera diretta sull'escursione termica, in genere elevata e comunque minore sui lati esposti a Nord. Si possono individuare diverse associazioni che trovano in questo ambiente il loro habitat di sviluppo. I licheni sono gli unici organismi vegetali in grado di penetrare, grazie ai rizoidi, direttamente la roccia arenacea. Su nicchie e piccoli aggetti nei quali si è sviluppato un debole strato di humus, si trovano specie casmofite che hanno sviluppato adattamenti specifici all'ambiente: l'apparato radicale è molto sviluppato in modo da migliorare l'ancoraggio, il fusto si presenta solitamente accorciato con foglie disposte a rosetta. Dove il substrato raggiunge un livello di evoluzione superiore (fessure più ampie con andamento orizzontale) crescono specie comofite, più esigenti delle precedenti e con un grado di adattamento minore. L'associazione rupicola più diffusa è *Drabo aizoidis* – *Primuletum apenninae* caratterizzata da *Draba aizoides* e *Primula apennina*.

Vegetazione delle falde detritiche

Ai piedi delle pareti rocciose si vengono spesso a formare falde detritiche, alcune delle quali sono tuttora attive e quindi periodicamente alimentate dalla caduta di clasti arenacei (Fig. 2.3). Le falde già da tempo stabilizzate ospitano una vegetazione più sviluppata rispetto a quelle più giovani. In particolare, i clasti sono popolati da specie licheniche e da muschi. Gli interstizi che si vengono a creare fra una pietra e l'altra lasciano spazio alla formazione di un debole substrato che permette lo sviluppo di comunità dominate dalle Pteridofite *Cryptogramma crispa*, *Dryopteris filix-mas* e *Arhyrium distentifolium*, cui spesso si affianca il romice scutato (*Rumex scutatus*).



Figura 2.3. Campi di pietre sulla cresta M. Giovo-M. Rondinaio.

Vegetazione delle vallette nivali

Le comunità vegetali presenti in questi ambienti sono ricche di specie particolarmente competitive per la permanenza prolungata della copertura nevosa. Di taglia minuscola e con un ciclo vegetativo e riproduttivo relativamente rapido, la flora di queste vallette nivali è per lo più formata da muschi, licheni, piante erbacee e salici nani prostrati.

La comunità che qui si può osservare è caratterizzata fisionomicamente dalla dominanza del salice erbaceo (*Salix herbacea*) a cui si affiancano piante erbacee come *Soldanella pusilla*, *Plantago alpina*, *Gnaphalium supinum*, *Luzula alpino-pilosa* e numerosi muschi tra cui *Oligotrichum hercynicum* e *Polytrichum sexangulare*. L'inquadramento sintassonomico colloca queste specie all'interno dell'alleanza di *Salicion herbaceae* (Br.-Bl. in Br.-Bl. et Jenny 1926).

Vegetazione acquatica e palustre

Nell'ambito della fascia subalpina, i ruscelli che defluiscono dalle sorgenti sovrastanti costituiscono un ambiente molto particolare; essi hanno un letto piuttosto marcato e il loro flusso, rapido e intenso, non favorisce lo sviluppo della copertura vegetale (salvo sporadici cuscinetti di briofite). Le loro acque fredde e limpide corrono inoltre in superficie e spesso si disperdono, dando vita ad aree tendenzialmente acquitrinose. Questi ambienti e le loro sponde sono colonizzati da una vegetazione igrofila adatta a microclimi freddi e l'associazione principale risulta essere, secondo Gerdol e Tomaselli (1988), la *Chaerophyllo-Cardaminetum asarifoliae*, caratterizzata dalla presenza di *Chaerophyllum hirsutum*, *Cardamine asarifolia* e *Caltha palustris*. L'associazione a livello sintassonomico

inferiore risulta suddivisa in due varianti in base alla quota dei siti occupati; a quelle più elevate troviamo *Carex frigida*, *Saxifraga stellaris*, *S. aizoides* e alcuni muschi.

Le torbiere sono ecosistemi caratterizzati da un suolo costantemente impregnato d'acqua e povero d'ossigeno a causa di un insufficiente drenaggio che determina la sedimentazione di individui vegetali parzialmente decomposti e trasformati (la cosiddetta torba). La vegetazione di questo ecosistema è costituita da comunità basse, sviluppate su substrato acido. L'associazione è *Caricetum nigrae*, caratterizzata da *Carex canescens*, *Agrostis canina* e *Juncus filiformis*; a livello sintassonomico inferiore nella zona del M. Prado è presente la variante caratterizzata da *Sphagnum subsecundum*, cioè torbiere a piccoli carici e con tappeti di sfagni nelle zone più a lungo inondate.

Nell'ambito della vegetazione di torbiera è stata individuata da Gerdol e Tomaselli (1993) la comunità a *Drepanocladus exannulatus* e *Juncus filiformis*. La specie dominante è un muschio presente soprattutto nello strato muscinale, mentre il giunco filiforme è dominante nello strato erbaceo. Questa comunità è spesso presente alle quote alte dell'Appennino, dove colonizza le pozze che normalmente si asciugano nella tarda estate e che sono frequentate dalle greggi pascolanti.

Vegetazione delle praterie

La prateria è una delle formazioni vegetali più diffuse in alto Appennino. Una prima distinzione importante all'interno di questa categoria viene fatta sulla base del substrato sul quale si sviluppa la vegetazione: le praterie neutro-basifitiche hanno origine su suoli prevalentemente marnosi o calcareo-marnosi; le praterie acidofitiche, dominanti su questo tratto del crinale, si sviluppano su substrati arenacei. Nell'ambito di entrambe le tipologie si possono individuare sia praterie primarie, quindi naturali, sia praterie secondarie, originate dal pascolamento delle precedenti o dalla distruzione per incendio delle brughiere a mirtilli e successiva destinazione a pascolo (Tomaselli, 1997).

Le praterie neutro-basifitiche (Fig. 2.4) si suddividono in due successive tipologie vegetazionali: praterie popolate dall'associazione *Aquilegio-Anemonetum narcissiflorae*, che trovano il loro habitat nelle cenge delle pareti rocciose esposte a Nord, e pascoli pingui caratterizzati da *Trifolium thalii* e *Festuca puccinellii*. Queste ultime, se il pascolo ovino è stato eccessivo, presentano evidenti segni di degradazione che si manifestano in una progressiva acidificazione del terreno con conversione in pascoli magri dominati da *Nardus stricta*, graminacea di piccola taglia.



Figura 2.4. Sezione schematica di prateria neutro-basifitica (Tomaselli, 1996).

1 *Poa alpina*; 2 *Trifolium thalii*; 3 *Crepis glabrescens*; 4 *Plantago alpina*; 5 *Festuca pulcinellii*; 6 *Alchemilla flabellata*.

Le praterie acidofitiche primarie si presentano con una copertura vegetale, a tratti interrotta da pietrosità superficiale, caratterizzata da *Trifolium alpinum*–*Plantago alpina*.

Molto più diffuse sono le praterie di origine secondaria. Fra queste, i pascoli magri dominati da *Nardus stricta* rappresentano un segno evidente dello stato di degradazione del suolo (Fig. 2.5). Queste praterie si presentano con una notevole povertà floristica, causata dall'eccessivo carico ovino che ha progressivamente ridotto il numero di specie foraggiere, su un suolo acido e povero di nutrienti (Tomaselli 1997).

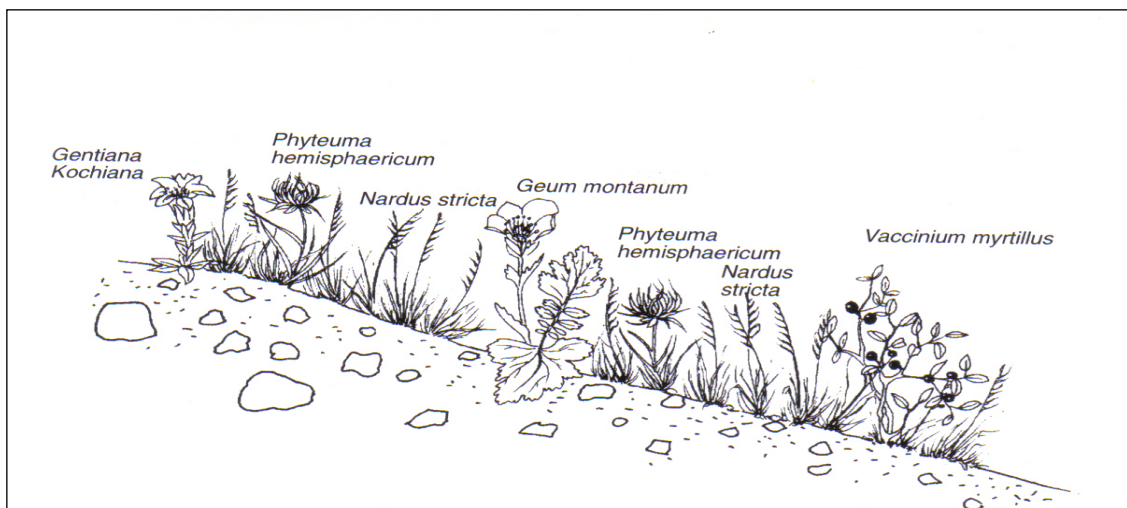


Figura 2.5. Sezione schematica di nardeto (Piccoli, 1992).

In corrispondenza di versanti acclivi, esposti a Sud, si sviluppano praterie acidofitiche secondarie dominate da *Brachypodium genuense*, con suolo abbastanza profondo e relativamente evoluto (Fig. 2.6).

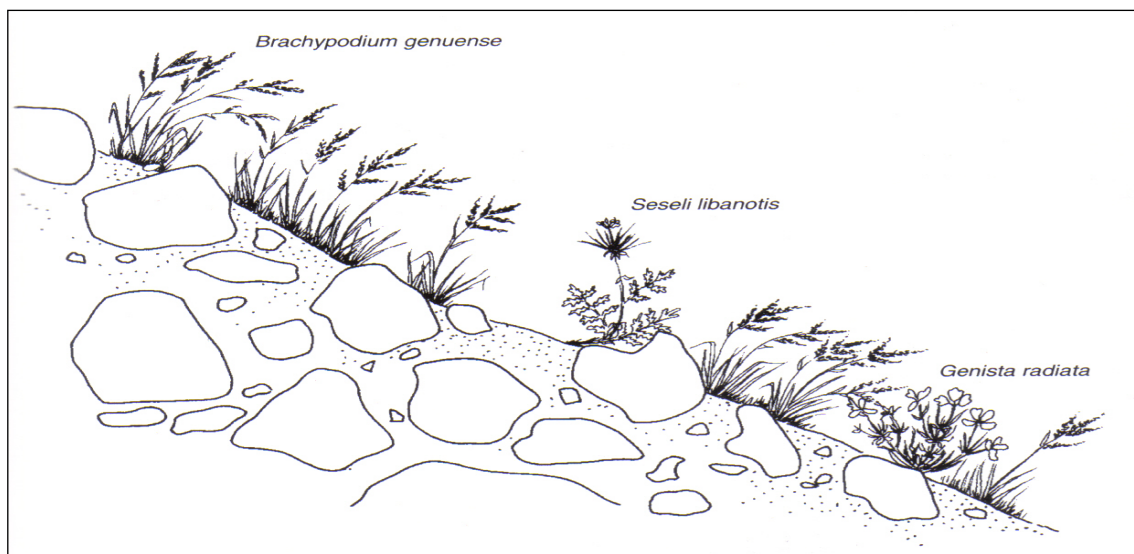


Figura 2.6. Sezione schematica di brachipodieta (Piccoli, 1992).

Infine, in prossimità della linea di crinale del gruppo M. Prado-M. Cusna e Alpe di Succiso, e lungo la dorsale M. Cimone-Libro Aperto, su versanti acclivi esposti a Sud-Ovest, trovano terreno fertile praterie dominate da *Festuca robustifolia*, una graminacea endemica di questa catena (Tomaselli 1997).

Vegetazione delle brughiere a mirtilli

Le brughiere a mirtilli esistevano già nel tardo Würm e le prove paleobotaniche documentano che intorno al 2000 a.C. (periodo SubBoreale) le brughiere venivano distrutte per far posto ai pascoli (Bertolani Marchetti, 1963). Questo fenomeno ha avuto il suo culmine tra il XVII e il XIX secolo e solo nei primi del Novecento il decadimento dell'economia silvo-pastorale ha favorito la ripresa delle brughiere.

Ora le brughiere rappresentano la vegetazione climax oltre il limite degli alberi. La formazione è composta da un basso arbusteto con dominanza delle specie *Vaccinium myrtillus* (mirtillo nero) e *Vaccinium gaultherioides* (mirtillo blu). A fianco di queste si trovano anche il ginepro nano (*Juniperus nana*), l'empetro (*Empetrum hermaphroditum*), il mirtillo rosso (*Vaccinium vitis-idaea*) e *Lycopodium annotinum*. Queste ultime specie diventano però rare nel percorso fino al Passo delle Radici e oltre; si nota infatti una perdita floristica lungo un gradiente che va da Nord-Ovest a Sud-Est.

Da un punto di vista sintassonomico si riscontrano due tipi di brughiere in base alle caratteristiche del suolo e alla durata dell'innevamento (Ferrari e Piccoli, 1997). Il primo è l'empetro-vaccinieta con la presenza di *Empetrum hermaphroditum*; si trova in suoli rocciosi e sottili con 5-6 mesi al massimo di innevamento, nei siti a maggiore continentalità climatica e alle quote più elevate (*Empetro-Vaccinietum gaultherioidis*). Il secondo è l'iperico-vaccinieta con *Hypericum richeri*: proprio di suoli più evoluti con

innevamento prolungato, è privo di specie boreali ed è distribuito alle quote più basse (*Hyperico richeri-Vaccinietum gautltherioidis*). Nell'ecocline tra queste due associazioni doveva situarsi il rodoreto-vaccinieta dell'Appennino settentrionale, legato a innevamenti di durata simile a quelli dell'iperico-vaccinieta, ma di maggiore potenza (Fig. 2.7). Questa arbusteto è documentato da reperti paleobotanici e oggi è scomparso, se si eccettuano alcune interessanti presenze di pochi rododendri (*Rhododendron ferrugineum*) in alcune brughiere dell'alto Appennino reggiano e modenese.

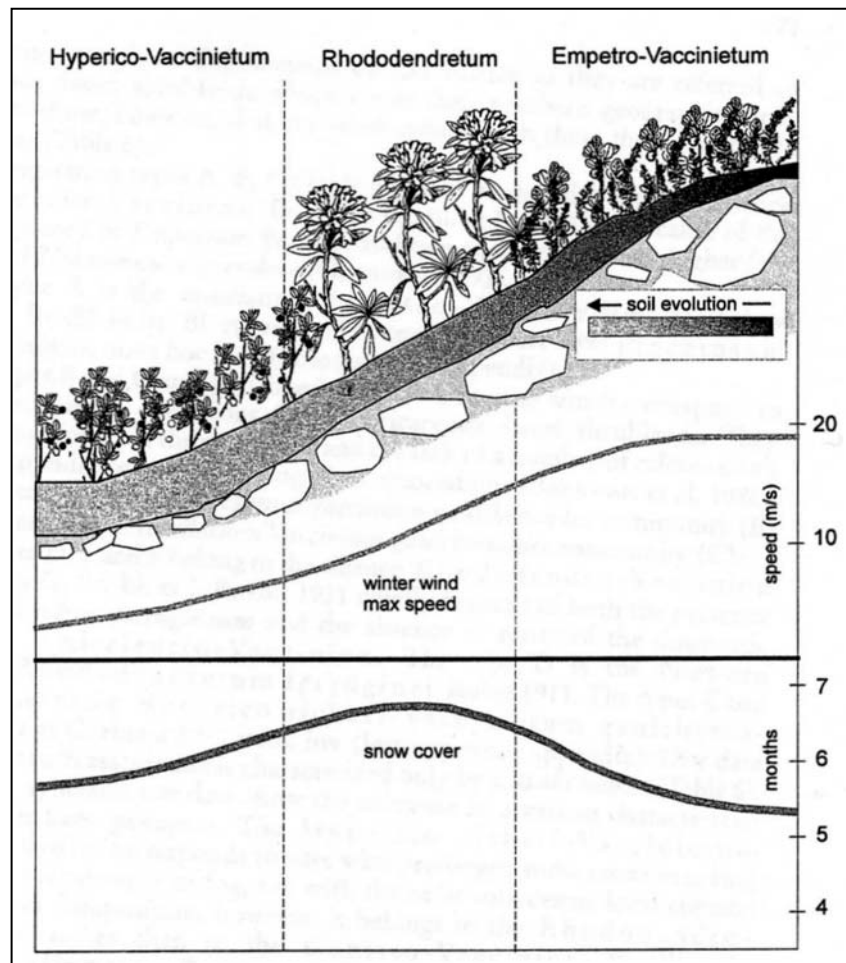


Figura 2.7. Tipi vegetazionali principali della brughiera a mirtilli nell'Appennino settentrionale. (Ferrari e Piccoli, 1997).

3. Il limite del bosco dell'Appennino settentrionale. *Fagus sylvatica*

Il faggio (*Fagus sylvatica*) è una delle più importanti latifoglie forestali in Europa. Ha iniziato la sua massima espansione durante l'Olocene (5500-3500 anni fa). *Fagus sylvatica* subsp. *sylvatica* può considerarsi un endemismo di questo subcontinente. Il suo areale si estende dalla Scandinavia meridionale alla Sicilia settentrionale e alla Grecia (Parnaso). Ad occidente raggiunge la Cornovaglia e la Spagna (monti della Galizia). Ad Est raggiunge la Moldavia ed è presente, in maniera disgiunta, anche in Crimea orientale (Fig. 3.1). Nella parte settentrionale dell'areale il faggio è specie di pianura, mentre nelle regioni centro-meridionali e orientali occupa il piano montano (Grossoni e Bussotti, 1999). La subsp. *orientalis*, ha una distribuzione sud-europea-orientale, fino al Caucaso e all'Iran settentrionale.

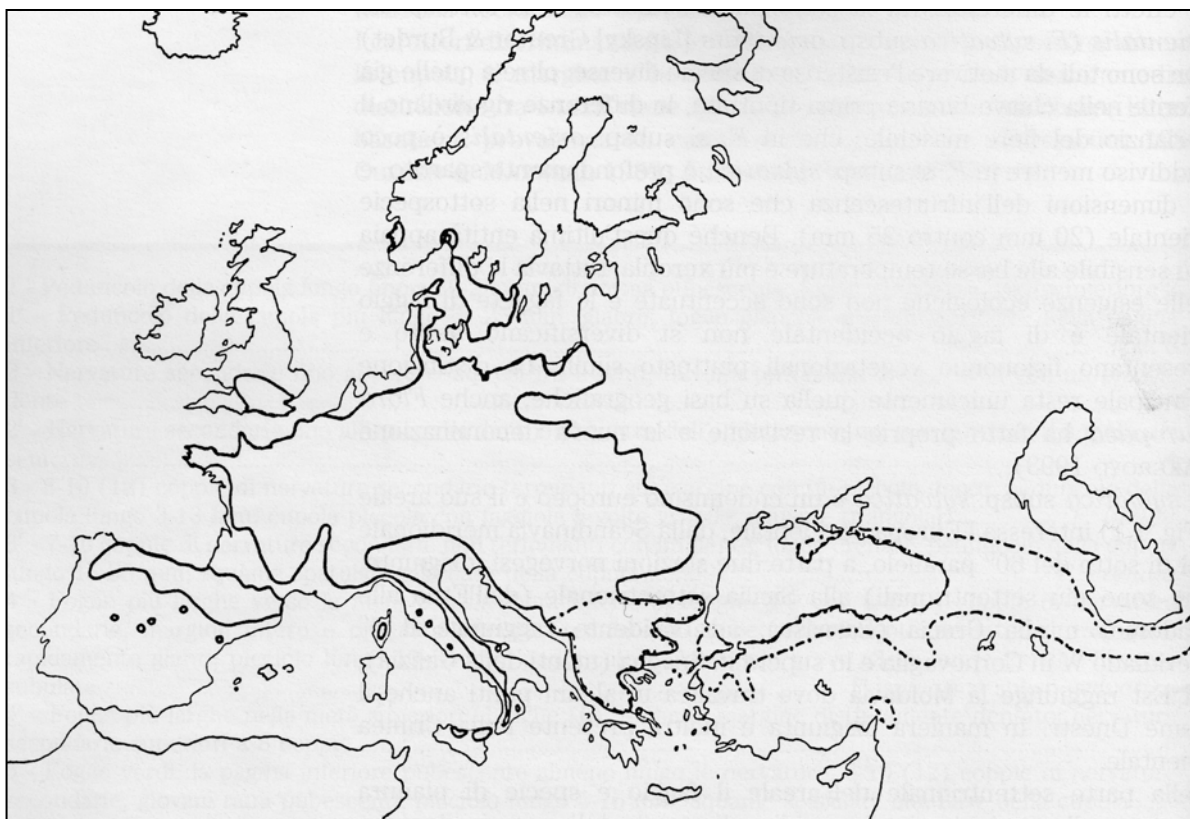


Figura 3.1. Areale di *Fagus sylvatica*. Linea continua: subsp. *sylvatica*; Linea tratteggiata: subsp. *orientalis* (da Grossoni e Bussotti, 1999).

3.1 Ecologia del faggio

Il faggio è una specie legata a climi oceanici e suboceanici, che difficilmente tollera il clima mediterraneo caldo o il clima continentale. Rispetto a precipitazioni e temperatura si può considerare una specie mesoigrofila e mesotermica. L'umidità atmosferica sembra essere un fattore determinante per la crescita e lo sviluppo della specie, soprattutto durante la fogliazione e il primo sviluppo dell'apparato fogliare (Hofmann, 1991). Per questo motivo il faggio è estremamente sensibile alle gelate tardive (germogli e semenzali restano distrutti a -2°C) e alle correnti secche e calde tardo primaverili. Può ricercarsi in questa ultima sensibilità la causa di una distribuzione appenninica che raggiunge le quote più elevate nei versanti settentrionali della catena in virtù di un miglior bilancio idrico.

La sua distribuzione comprende aree con temperature medie annue da 6 a 12°C , con le maggiori frequenze verso i valori superiori, purché siano compensati da elevate piovosità (Bernetti 1995).

Il faggio tollera minime invernali fino a -25°C anche se a -15°C possono iniziare a manifestarsi danni non letali (Bernetti 1995). La tolleranza alla continentalità climatica è di 20°C fra la media del mese più caldo e quella del mese più freddo, con ottimo a 16°C (Hofmann, 1991). Il periodo vegetativo, secondo le stime di Ruebel (1938) corrisponde ai giorni con temperatura media superiore a 10°C . Nelle regioni della sua attuale distribuzione si tratta di 110-150 giorni. Lausi e Pignatti (1973) individuano in 110 giorni il minimo necessario per una piena fogliazione, con *optimum* a 160-180 giorni. Le precipitazioni corrispondenti a condizioni climatiche ottimali superano i 1500 mm annui. L'apparato radicale è poco profondo e con radici concentrate sotto il colletto; pertanto il faggio esplora solo il terreno ombreggiato dalla chioma e sfrutta bene l'abbondante acqua di percolazione lungo il fusto (*stem flow*). L'effetto di una moderata siccità estiva si manifesta con il precoce ingiallimento delle foglie, evidente sulle piante isolate e sulle piante dominanti (Grasso, 1956; Cantiani, 1958). Una siccità più accentuata comporta l'arrossamento anticipato di tutta la chioma a partire dai popolamenti delle esposizioni più soleggiate. Poiché la normale formazione delle gemme avviene in luglio (Mariani, 1971), la siccità estiva ha effetti contenuti a meno che non si ripeta a brevi intervalli o non si combini con la siccità invernale o primaverile oppure con una annata di gelate primaverili.

Al faggio si attribuisce una longevità di soli 200-250 anni, salvo eccezioni su piante isolate (Mayer, 1977). La fase giovanile è lunga e la maturità viene raggiunta verso i 60-80 anni in bosco mentre scende a 30-40 negli esemplari isolati (Grossoni e Bussotti,

1999). La fruttificazione non è costante tutti gli anni: ogni 4-5 anni è buona, ma solo ogni dieci anni circa è abbondante (anni di *pasciona*).

Il faggio si può considerare una specie in grado di adattarsi a diverse tipologie di suolo (calcari, graniti, arenarie). Tuttavia, non essendo specie pioniera, si sviluppa su suoli che sono al massimo della loro evoluzione e non cresce su suoli primitivi (Hofmann, 1991).

La sua associabilità è estremamente bassa (aumenta se al di fuori di condizioni ecologiche favorevoli) ed è evidente la tendenza a formare boschi puri e coetanei.

3.2 Il faggio nell'Appennino settentrionale, versante padano.

Nell'Appennino settentrionale, i dati paleobotanici relativi al postGlaciale, (ultimi 12-10 anni) indicano che l'attuale predominio del faggio (*Fagus sylvatica*) nella fascia montana è iniziato circa 400 anni fa.

La geologia e la climatologia di queste aree non sono troppo favorevoli all'insediamento di questa specie che riesce comunque, grazie alla presenza di un vasto altopiano fra i 1000 e i 1800 m, a raggiungere estensioni elevate, tanto da conferire a questo versante dell'Appennino settentrionale il secondo posto, su scala nazionale, per l'estensione dei faggeti (Hofmann, 1991). Rispetto al passato tuttavia, i boschi di faggio mostrano una diminuita estensione e una forte differenza strutturale dovuta probabilmente alla tipologia di governo a ceduo che ancora prevale in tutta la regione e che non favorisce la preservazione della specie. Nella fascia emiliano romagnola, a causa dello zoccolo roccioso a carattere prevalentemente arenaceo, si originano infatti suoli piuttosto poveri (dai ranker ai suoli bruni oligotrofici) sui quali solo il governo a fustaia è in grado di produrre una strato di humus considerevole. Si registra tuttavia, nell'ultima periodo, una tendenza verso la conversione al governo ad alto fusto.

L'ampia distribuzione altitudinale del faggio e la sua dominanza nei boschi conferiscono comunque un'apparente omogeneità fisionomica e poche sono le specie arboree che riescono ad inserirsi. Fra queste *Acer pseudoplatanus*, *Sorbus aucuparia*, *Laburnum alpinum* e, sporadicamente, *Abies alba*.

Dal punto di vista fitosociologico i boschi di faggio del settore emiliano-romagnolo sono ascrivibili all'ordine *Fagetalia sylvaticae* che a sua volta comprende 3 distinte associazioni, sulla base delle quali è possibile distinguere 3 settori fitoclimatici:

- Settore montano piacentino-parmense, caratterizzato dall'associazione *Trochiscantho-Fagetum* Gentile, 1974. Si distinguono all'interno una fascia ad alta quota (fra 1400 e 1600 metri) con aspetto più mesofilo ed una a quote inferiori (sotto i 1400 metri) contraddistinta dalla presenza di *Sesleria autumnalis*.

- Settore montano reggiano-bolognese, nel quale l'associazione dei faggeti della fascia montana medio-superiore è stata descritta da Ubaldi e Speranza (1985) come *Gymnocarpio-Fagetum*, caratterizzata dalla presenza delle felci *Gymnocarpium dryopteris* e *Dryopteris dilatata*; la subassociazione qui presente è la *Gymnocarpio-Fagetum polystichetosum*. Al limite superiore della vegetazione forestale si trovano sporadicamente piccoli gruppi isolati di faggio e sorbo degli uccellatori (*Sorbus aucuparia*).
- Settore montano romagnolo contrassegnato da *Galeopsi-Fagetum* (Ubaldi e Speranza, 1985 e Ubaldi, 1993) nella parte superiore e da *Aceri platanoidis-Fagetum* (Ubaldi e Speranza, 1985) sotto i 1200 metri.

In prossimità dei crinali gli interventi antropici (ceduazione e incendi) per favorire il pascolo hanno prodotto faggeti degradati, a portamento arbustivo con fusti policormici e fisionomia semiprostrata per la concomitante azione modellatrice del vento e degli altri agenti atmosferici. Il limite si presenta generalmente netto e ben delineato, ma si possono osservare individui isolati e in piccoli gruppi il cui habitus cespuglioso è determinato dall'azione del vento, da morsi di animali o da neve e ghiaccio. La presenza sul crinale di eccezionali esemplari di faggio secolari di buone dimensioni e portamento ribadisce il concetto che l'intervento umano ha fortemente condizionato questi ambienti.

Nella fascia montana dell'area di studio sono presenti conifere, tra cui abeti bianchi secolari, derivati da una lunga attività economica di coltivazione legata alla segheria.

E' da menzionare il bosco dell'Abetina Reale, donato dai Gazzesi agli Estensi nel 1451. La prima segheria fu allestita in occasione dell'inizio dei lavori per la costruzione della fortezza di Castelnuovo Garfagnana (1568). Il legname necessario, infatti, venne in gran parte prelevato dall'Abetina Reale. All'inizio del XIX sec. la segheria fu ricostruita e lo sfruttamento dell'Abetina si intensificò, a spese soprattutto della popolazione di abete bianco; questo fino ad arrivare al 1977 quando fu acquistata dalla Regione Emilia Romagna.

3.2 Distribuzione del limite del bosco

La distribuzione ottimale del faggio (Pignatti, 1982) è fra 600 e 1300 m sulle Alpi e fra 1000 e 1700 m sui rilievi appenninici. In alcuni casi, a causa della sua dipendenza dall'umidità atmosferica, l'ambito altitudinale è modificato localmente, come nel caso delle faggete depresse eterotopiche del Gargano, dove il limite inferiore scende a 400-500 m.

Il pattern spaziale del limite del bosco dell'Appennino settentrionale è stato mappato grazie all'impiego di 4 carte della vegetazione su scala 1: 25000 (Ferrari et al. 2002a; Ferrari et al. 2002b; Tomaselli et al., 1994b; Tomaselli et al., 2002) e del software GIS ArcGIS 8.3 (ESRI, Environmental Science Research Institute, 2000). Il limite è stato prima digitalizzato sulla base di quanto riportato nelle carte della vegetazione. Sono state quindi individuate 14 fasce altitudinali all'interno delle quali sono stati inseriti i tratti di limite del bosco corrispondenti. In questo modo è stato possibile ottenere la distribuzione altitudinale del limite, suddivisa per classi di altitudine, lungo tutto il crinale dell'Appennino (Fig. 3.2). Il *range* di distribuzione è piuttosto ampio, con punte minime e massime rispettivamente di 1200 e 1875 metri. Il limite ha una lunghezza complessiva di 354 Km.

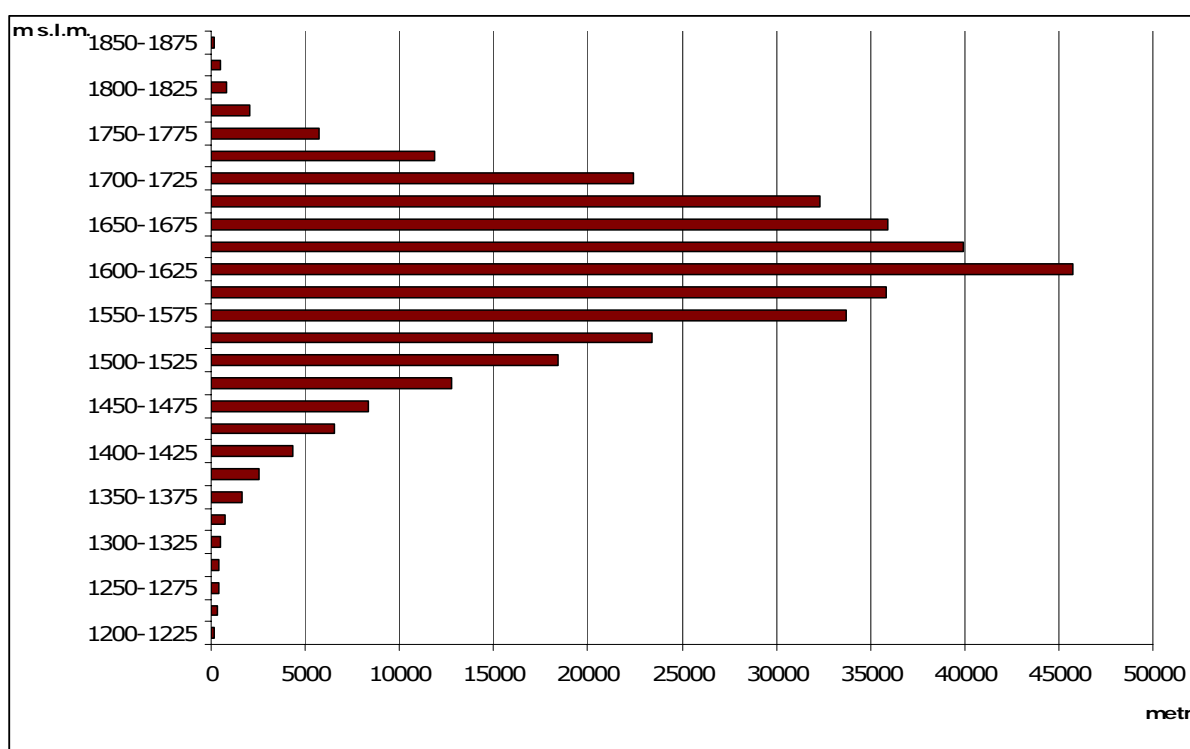


Figura 3.2. Distribuzione del limite altitudinale del bosco di faggio nell'Appennino settentrionale.

Per individuare i tratti di maggiore naturalità si è proceduto ad un'analisi dei contatti cartografici del limite del bosco con tipi di vegetazione naturale e subnaturale (Westhoff, 1983). Come mostra Fig. 3.3 la lunghezza totale di questi contatti è di 180 Km e si realizza interamente sopra i 1600 m di quota. I contatti più estesi sono quelli con le brughiere a mirtilli (Loiseleurio-Vaccinietea: 71%) e con praterie a *Brachypodium genuense* (DC) Römer et Schultes (21%).

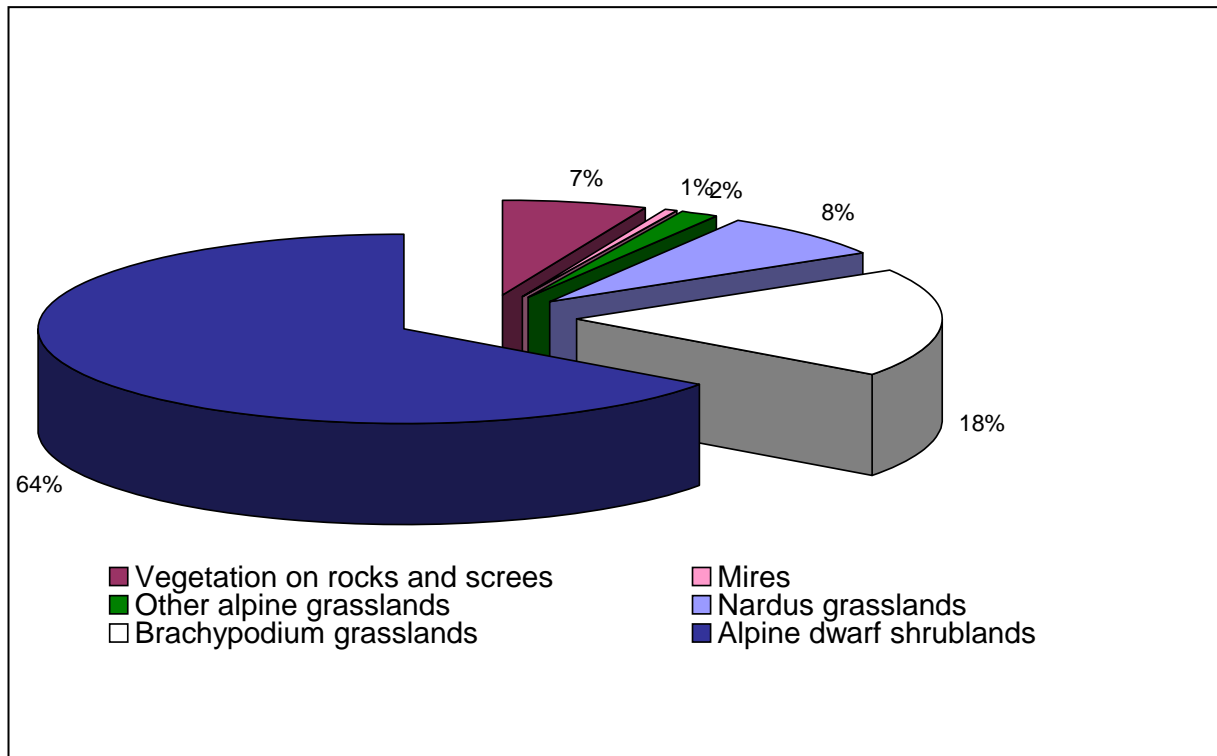


Figura 3.3. Vegetazione di contatto al limite del bosco di faggio nell'Appennino settentrionale.

É evidente il predominio della brughiera a mirtilli. Questa brughiera viene infatti considerata la vegetazione climax oltre il limite del bosco e denota quindi uno stato di naturalità del limite, in contrasto con la presenza di praterie secondarie, testimoni di un passato intervento antropico.

4. Caratterizzazione termica dell'alto Appennino settentrionale

Il primo passo per una buona caratterizzazione termica di un sito va mosso alla ricerca di una base dati già disponibile. Purtroppo, le numerose stazioni meteorologiche presenti nella parte di Appennino settentrionale di nostro interesse non forniscono, in generale, serie temporali lunghe e attendibili. Inoltre, mancano stazioni nell'intervallo altitudinale comprendente il limite del bosco. Le notizie riportate di seguito forniscono quindi soltanto una prima approssimazione per la descrizione delle condizioni bioclimatiche corrispondenti a questo limite ecologico.

4.1 Precipitazioni

Sulla base dei dati registrati dal Magistrato alle Acque per il Po in 86 stazioni regionali, nel periodo 1921-1972, l'autunno è la stagione più piovosa, seguita dalla primavera, dall'inverno e infine dall'estate. Nel periodo autunnale, si possono avere anche valori medi di oltre 20 mm al giorno (Piacente, 1992). Il massimo delle precipitazioni occorre nel mese di novembre e il minimo nel mese di luglio.

Il massimo e il minimo secondari si verificano rispettivamente in marzo o maggio, e in gennaio. Le quantità delle precipitazioni seguono un gradiente altitudinale e raggiungono valori di 1000 mm nella fascia collinare (con punte fino a 4000 mm) per arrivare a 2000 mm in corrispondenza dello spartiacque. Questo modello di regime pluviometrico, denominato *sublitoraneo* si riscontra in tutto il territorio dell'Appennino emiliano, a eccezione del M. Cimone, dove il modello è di tipo *subcontinentale* a causa delle precipitazioni relativamente abbondanti nel periodo estivo.

Le precipitazioni nevose rivestono un ruolo decisivo all'interno delle interazioni fra clima e vegetazione: condizionano la durata del periodo vegetativo e prevengono il congelamento delle gemme grazie alla copertura che il manto nevoso fornisce durante il gelido periodo invernale (cfr. 1.3.2).

La neve è un fenomeno variabile sia a livello spaziale che temporale: le precipitazioni infatti sono più abbondanti nel versante padano e la durata della copertura del manto nevoso è strettamente legata al regime di temperatura. La neve comincia ad apparire nel mese di dicembre e rimane al suolo fino ad aprile, mese nel quale possono anche occorrere modeste precipitazioni nevose. I mesi di maggior precipitazione nevosa sono gennaio, febbraio e marzo. Alle quote più elevate la copertura nevosa può raggiungere

spessori che vanno dai 20 cm (intorno ai 1000 m di altitudine) ai 100-200 cm (intorno ai 2000 m). La permanenza media della copertura nevosa è di 100 giorni all'anno, con punte di 190 registrate in corrispondenza del M. Cimone. Alle quote più elevate la neve può permanere al suolo, in alcune aree, sino a maggio-giugno (Ferrari e Rossi, 1995).

4.2 Umidità e venti

L'umidità relativa dell'atmosfera mostra un andamento annuale abbastanza regolare, con valori minimi nel periodo estivo, con una media del 60% nelle zone intorno ai 1000 m e del 75% in quelle di vetta. I valori massimi si registrano nella stagione autunnale, intorno al 75% nelle aree meno elevate e intorno all'80% in quelle dei rilievi.

Per quanto riguarda i venti, i dati disponibili sono piuttosto limitati, ma dati della stazione di Sestola (1020 m) rivelano un orientamento prevalente dei venti da Nord-Est, a eccezione del M. Cimone dove i venti spirano prevalentemente da Sud-Ovest e da Ovest-Sud-Ovest, con una velocità massima media che in inverno è intorno ai 40 km/h.

4.3 Temperatura

L'Appennino settentrionale si trova in un'area interessata dal clima *oceanico di transizione*, caratterizzato da escursioni termiche piuttosto elevate, con accentuate caratteristiche di *continentalità* sul versante padano. Il regime delle temperature, che in pianura ricade all'interno del tipo *temperato subcontinentale*, salendo in quota diventa del tipo *temperato fresco* nell'alta collina e del tipo *temperato freddo* nell'alta montagna.

La caratterizzazione termica delle aree di studio si è basata su dati registrati presso 5 stazioni dell'Appennino tosco emiliano (Mercalli *et al.*, 2003), disposte lungo un transetto orientato in direzione NE-SO, dalla pianura emiliana (Anzola nell'Emilia) fino al M. Cimone (Tab. 4.1).

Come si può notare dalle quote riportate in Tabella 4.1, non sono disponibili dati relativi alla fascia altimetrica compresa fra 1000 e 2000 metri, per tale fascia quindi ci si dovrà riferire alle regressioni calcolate. Le analisi statistiche sono state condotte elaborando i dati termici giornalieri (temperatura massima e minima).

Tabella 4.1. Caratteristiche delle stazioni meteo considerate. SIMN: Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale; AM: Aeronautica Militare.

Stazione	Quota (m)	Periodo di osservazione	Ente
Anzola nell'Emilia (BO)	49	1951-2002	SIMN
Pavullo nel Frignano (MO)	682	1951-1998	SIMN
Monteombraro (MO)	727	1951-2002	SIMN
Sestola (MO)	1020	1951-1998	SIMN
Monte Cimone (MO)	2165	1964-2003	AM

Per una corretta analisi dell'andamento della temperatura in base alla quota occorre tener conto di una fascia (*thermal belt*) intorno ai 500-800 m, favorita sotto il profilo termico e del soleggiamento, al di fuori quindi dei ristagni di aria fredda tipica dei fondovalle e delle conche. Come conseguenza, le temperature medie registrate in corrispondenza di stazioni all'interno di questa cintura (es: Monteombraro a 727 metri in quota, con una media annua di 10.8 °C) risultano più alte rispetto a quelle segnalate in stazioni più basse in quota (es: stazione di Pavullo nel Frignano a 628 metri, con media annua pari a 10.1 °C).

La differenza di temperatura media annua fra le due località del transetto estreme in quota (Anzola nell'Emilia e M. Cimone, 2100 metri di dislivello) è pari 10.6 °C (Fig. 4.1). Sulla base di tali dati si può calcolare una gradiente termico altimetrico annuo pari a 0.5 °C ogni 100 m, leggermente inferiore al valore standard della libera atmosfera, pari a 0.65 °C ogni 100 m.

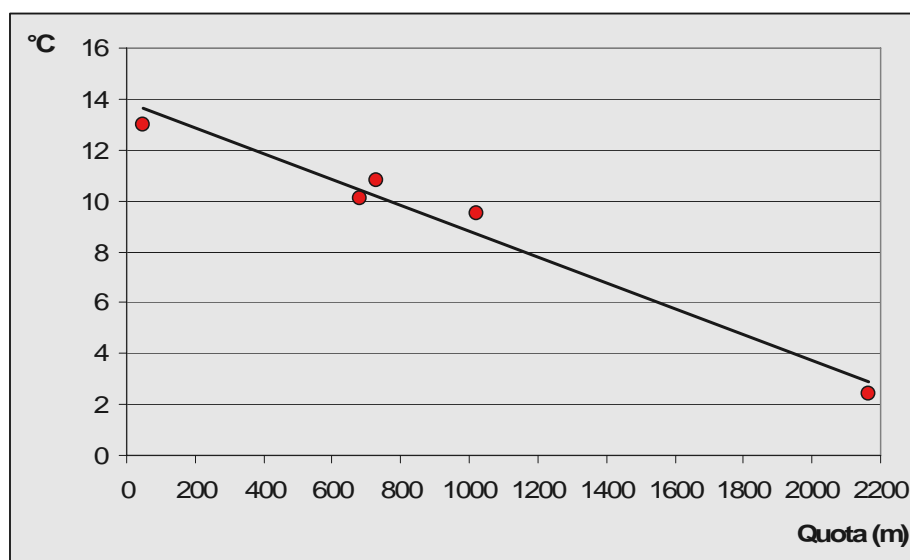


Figura 4.1. Andamento della temperatura media annuale con la quota. Dati registrati presso le 5 stazioni di riferimento. In nero la retta di regressione lineare.

Un'analisi delle principali informazioni statistiche sulla temperatura (media annua, media del mese più caldo, giorni con temperatura maggiore di 5 °C, ecc.) ha permesso di calcolare, tramite regressione lineare, il valore di questi parametri (Tab. 4.2), di interesse per la crescita del faggio, alle quote in cui si forma il limite del bosco (da 1650 a 1850 metri).

Tabella 4.2. Valori di alcuni parametri ottenuti tramite regressione lineare. TMA= temperatura media annua; TMF= temperatura media del mese più freddo; TME= temperatura media estiva (giugno-settembre); TMC= temperatura media del mese più caldo; EA= escursione annua; G>5 e G>10= giorni con temperatura maggiore o uguale rispettivamente a 5 e 10 °C.

Quota	TMA	TMF	TME	TMC	EA	G>5	G>10
1600	5.8	-1.6	12.8	14.6	16.0	147	160
1700	5.2	-1.9	12.2	14.0	15.7	141	151
1800	4.7	-2.2	11.6	13.4	15.4	135	141
1900	4.2	-2.5	11.0	12.7	15.1	128	132

Grazie all'aggregazione delle serie di dati termici relativi alle cinque stazioni di riferimento, è stato possibile ottenere un'unica serie *regionalizzata*, valida per il settore dell'Appennino considerato dal nostro transetto di dati. Per ogni anno, dal 1951 al 2002, sono stati mediati gli scarti, di ciascuna località, della temperatura media annuale rispetto al valore normale (inteso come media dell'intero periodo, 1951-2002). In questo modo è stato possibile ottenere una curva rappresentativa dell'andamento medio delle anomalie termiche annuali dell'atmosfera nell'intero periodo considerato (Fig. 4.2).

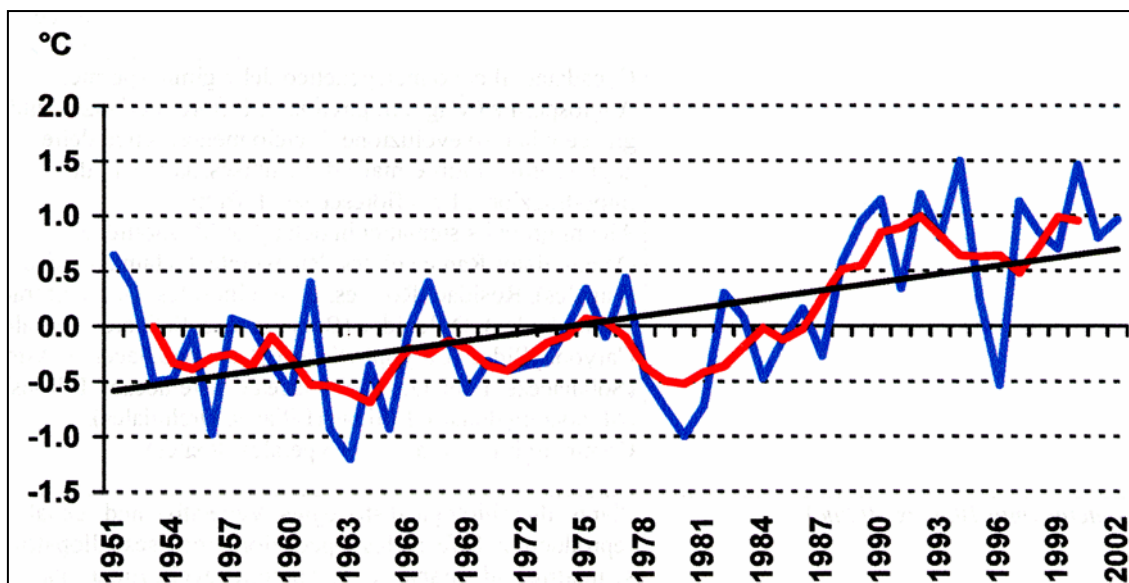


Figura 4.2. Andamento medio delle anomalie termiche annuali nell'Appennino settentrionale. Linea blu: anomalie annuali; linea rossa: media mobile; linea nera: retta di tendenza.

Per cogliere meglio l'andamento di fondo della temperatura è stata calcolata anche la media mobile, vale a dire la media ricalcolata ciascun anno considerando anche i valori dei due anni precedenti e dei due anni successivi.

Sono evidenti (Fig. 4.2), le fasi fredde alla metà degli anni '60 e a fine anni '70-inizio '80. In particolare gli anni 1956, 1963 e 1965 appaiono tra i più freddi, con scarti termici dalla media rispettivamente di -1.0, -1.2 e -0.9 °C; anche il 1980 è freddo, con uno scarto di -1.0 °C.

Dalla metà degli anni 1980 avviene un brusco riscaldamento, interrotto soltanto dal fresco 1996, l'unico anno che ha presentato uno scarto termico negativo nel periodo 1988-2002. Il 1994 e il 2000 risultano gli anni più caldi, con 1.5 °C in più rispetto alla media cinquantennale.

Sulla base dell'andamento della retta di tendenza, (Fig. 4.2), si può stabilire un aumento della temperature media annuale nell'Appennino modenese, sul periodo 1951-2002, pari a 1.3 °C circa, aumento leggermente superiore a quello riscontrato sulle Alpi, pari a 1.0 °C.

5. La Dendrocronologia come metodo di analisi ambientale

Le prime osservazioni sugli anelli degli alberi e sulla loro possibile relazione con il clima si trovano nelle osservazioni scientifiche sulla natura di Leonardo da Vinci (E' possibile citare l'opera?). La dendrocronologia, come scienza, (dal greco *dendron* = albero, *kronos* = tempo e *logos* = discorso) nasce però nel Nord America agli inizi del '900, grazie all'intuito dell'astronomo Andrew Ellicott Douglass. Douglass era convinto esistesse una stretta dipendenza fra l'accrescimento degli alberi e la disponibilità di acqua in una determinata area e per questo era altresì convinto di poter ricavare, tramite lo studio degli alberi, informazioni circa le precipitazioni occorse, in un determinato periodo, su una specifica area.

Con questi presupposti, la dendrocronologia nasce quindi come scienza che studia l'accrescimento degli alberi in relazione ai fattori che hanno determinato la crescita stessa (fattori climatici, geopedologici, influenze antropiche, ecc..).

5.1 Le basi della dendrocronologia

Il processo biologico che ha permesso lo sviluppo di questa disciplina riguarda le modalità di accrescimento delle piante. La crescita dell'albero è caratterizzata da un aumento radiale: ogni anno si forma un anello legnoso all'esterno del tronco.

Nelle regioni temperate la stagione vegetativa di una pianta è limitata al periodo primaverile ed estivo; il periodo di crescita si arresta infatti al sopraggiungere dei primi freddi autunnali. Durante il periodo primaverile si ha la produzione di legno *primaverile* o *primaticcio*, caratterizzato da una colorazione chiara e formato da cellule con parete cellulare sottile e lume ampio. Il tardo periodo estivo porta invece alla produzione di legno *autunnale* o *tardivo*, legno denso e scuro formato da cellule con lume piccolo e parete cellulare spessa. Una volta terminato il periodo di crescita annuale è quindi visibile nell'albero un anello formato da una parte chiara (*legno primaverile*) e da una parte scura (*legno autunnale*) in sequenza. L'anno successivo, all'arrivo della stagione propizia, si avrà la formazione di nuovo legno primaticcio.

In regioni con clima tropicale non è possibile stabilire un'alternanza di stagioni e l'albero cresce ininterrottamente durante tutto l'anno, senza la formazione di anelli. Talvolta, però, in climi con stagione secca si possono riscontrare variazioni nella crescita dell'albero dovute a periodi di siccità o di elevate precipitazioni.

Tramite appositi strumenti è possibile misurare l'ampiezza di ogni singolo anello (ampiezza anulare) e quindi ricostruire l'andamento della crescita dell'albero nel tempo. Se si conosce l'anno di campionamento si può quindi risalire all'età degli alberi e si possono individuare, sulla base dell'ampiezza degli anelli, periodi di crescita più o meno favorevoli per la pianta.

Un diverso approccio utilizza l'analisi radiodensitometrica. Questa metodologia consiste nel tagliare i campioni di legno in sottili listelli che vengono poi sottoposti a radiografia. Le lastre prodotte vengono esaminate con un densitometro che ne misura la densità lungo il raggio. Fra i vari parametri che si ricavano con l'impiego di questa tecnica si ritengono importanti la densità massima (per la ricostruzione delle temperature in zone temperate), la densità minima (per ricavare l'andamento delle precipitazioni in zone aride) e l'ampiezza anulare. Le variazioni di densità intra-annuale sono importanti per determinare i cambiamenti climatici su breve scala, durante il periodo vegetativo (Schweingruber, 1990).

5.2 Applicazioni

La dendrocronologia trova applicazione in numerosi campi di ricerca. Il continuo sviluppo all'interno dei diversi settori di questa branca principale ha portato alla formazione di tutta una gamma di sottodiscipline, ognuna delle quali, studiando gli anelli degli alberi, può fornire preziose informazioni in campo ecologico e ambientale.

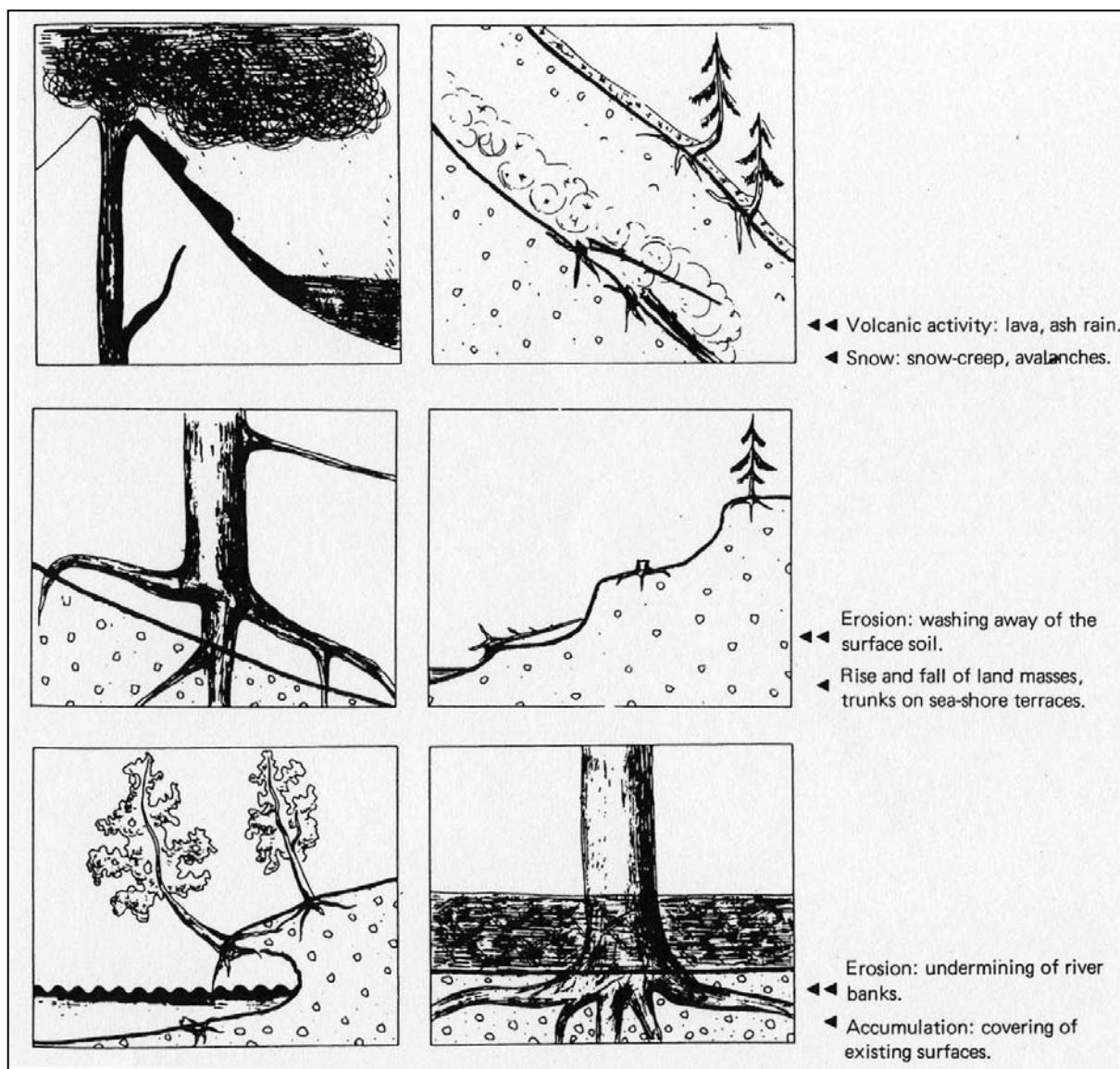


Figura 5.3. Processi geomorfologici che si riflettono nella struttura di un albero (Schweingruber, 1988).

La *dendroarcheologia* trova applicazione nella datazione di manufatti e di dipinti, anche di epoche remote; più in generale, è utilizzata per risalire al periodo durante il quale un albero è stato abbattuto e utilizzato per la costruzione (Bauch and Eckstein 1981; Douglass, 1929; Stallings, 1960).

Sono numerosi anche gli impieghi della *dendrogeomorfologia*. Questa disciplina, insieme alla *dendroidrologia* e alla *dendroglaciologia*, è fondamentale nella datazione di processi geomorfici (frane, colate di detrito, valanghe, attività vulcanica e sismica), di attività fluviali e sedimentazione e di movimenti glaciali (Baillie & Munro, 1988; Yamaguchi, 1983).

Qualsiasi processo che coinvolge o ha effetti sull'albero viene infatti "registrato" in modo permanente nella struttura stessa della pianta. Un tronco sepolto in una morena, ad esempio, o in un altro sedimento datato dendrocronologicamente fornisce con la data della propria morte l'età di deposizione del sedimento in cui si trova (Holzhauser, 1984). Le ferite causate a un albero dal movimento di un ghiacciaio sono in grado, se datate, di dare indicazioni circa i periodi di movimentazione del ghiacciaio (Holzhauser & Zumbuehl, 1996; LaMarche & Fritts, 1971; Luckman, 1994). Lo stesso criterio può essere utilizzato per datare frane o altri eventi geomorfologici.

Un altro importante ramo di applicazione riguarda la valutazione dell'impatto antropico sia sui sistemi forestali che sul singolo albero, in generale. In questo ambito la dendrocronologia risulta estremamente utile accoppiata ad analisi dendrochimiche sulla composizione, in inquinanti, degli anelli degli alberi. In questo modo, infatti, è possibile seguire l'andamento della concentrazione di un inquinante negli anelli e tracciare così un'evoluzione dell'inquinante stesso in atmosfera (Baes & McLaughlin, 1984; Hagemeyer, 1993; Sutherland & Martin, 1990).

5.3 Dendrocronologia e segnali climatici: dendroclimatologia

La dendroclimatologia è quella sottodisciplina della dendroecologia che si interessa dello studio degli andamenti climatici in relazione all'andamento delle cronologie anulari ricavate dai campionamenti sugli alberi.

Le ricerche effettuate in questo campo si basano su due principi fondamentali:

1. Alberi della stessa specie, viventi nella medesima area geografica, producono nello stesso periodo di tempo serie anulari simili: lo spessore di questi anelli, infatti, varia ogni anno a seconda delle condizioni climatiche;
2. E' possibile confrontare le sequenze anulari di alberi vissuti nella stessa area geografica nello stesso periodo di tempo.

Grazie alla dendroclimatologia è possibile ricavare informazioni sulle condizioni climatiche passate e presenti e tracciare quindi le basi per previsioni future.

Utilizzando le serie cronologiche ricavate da alberi di diversa età e specie, su diverse aree di campionamento, è possibile, infatti, estendere serie di dati meteorologici (Fig. 5.4). Inoltre, l'analisi di serie anulari considerevolmente lunghe può fornire un valido

aiuto nella comprensione delle cause delle fluttuazioni climatiche a lungo termine (Schweingruber, 1988).

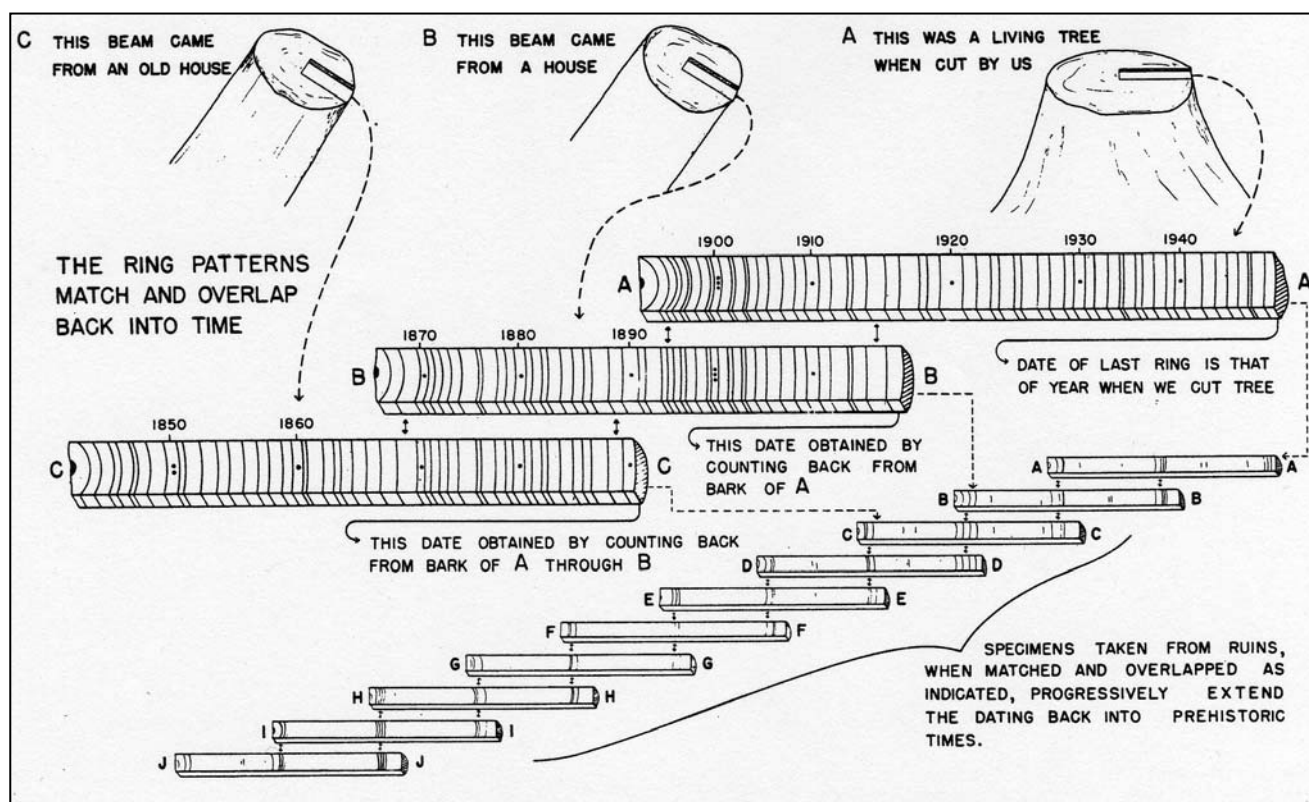


Figura 5.4. Ricostruzione di una lunga cronologia attraverso l'impiego di numerosi campioni prelevati in aree diverse (Fritts, 1976).

Se da un lato l'albero risponde a variazioni climatiche, è anche vero che registra nei suoi anelli variazioni di altra origine, provenienti sia dall'evoluzione dei potenziali biologici dell'albero (età, ecc.) sia da fattori esterni estranei ai parametri climatici (cambiamenti del suolo, interventi antropici, ecc..).

Per riuscire a estrapolare dalla pianta e ad analizzare il maggior numero di informazioni relative agli andamenti climatici è quindi necessario isolare il segnale che questi ultimi producono. Una volta stabilito questo, si può pensare a una serie cronologica come a una aggregazione di segnali diversi, ognuno dei quali, in base allo scopo della ricerca, può diventare il segnale da isolare e analizzare (Cook & Briffa, 1990).

Le informazioni contenute nello spessore di un anello in un certo anno (R_t) possono esprimersi come la somma:

$$R_t = A_t + C_t + \delta D1_t + \delta D2_t + E_t$$

dove

R_t = spessore dell'anello nell'anno t ;

A_t = trend rappresentativo dell'accrescimento radiale dell'albero in funzione dell'età;

C_t = segnale climatico comune a tutti gli alberi di un sito;

$\delta D1_t$ = disturbo causato da un agente endogeno su scala ridotta (es. taglio);

$\delta D2_t$ = disturbo causato da un agente esogeno ad ampia scala, che coinvolge tutti gli alberi di un sito (es. incendio, attacco di parassiti);

E_t = segnale aleatorio proprio di ciascuna serie elementare.

Per l'analisi dendroclimatologica l'obiettivo è quello di isolare il segnale climatico (C_t) e quindi di eliminare tutti gli altri segnali che fungono, in questo specifico caso, da disturbo.

6. Aree di studio e metodo di campionamento

L'Appennino settentrionale comprende una vasta area ricca di specie, di habitat e di paesaggi diversi. All'interno di questo grande patrimonio naturale sono state individuate due aree fra quelle che presentano ancora aspetti di naturalità più marcati, rispetto ad altre zone interessate da una più evidente pressione antropica ancora oggi in atto.

La scelta è ricaduta sull'area del M. Giovo-M. Rondinaio, nell'Appennino modenese, e sull'area del M. Prado-M. Cusna nell'Appennino reggiano. In ogni area sono poi stati scelti due transetti, per un totale quindi di 4 punti principali di campionamento. I criteri che sono stati seguiti per la scelta delle aree riguardano sia aspetti morfologici che vegetazionali. In primo luogo si è tenuto conto delle caratteristiche fisiologiche proprie della specie da analizzare. Il faggio, come già descritto nel Capitolo 4, tende a formare un limite del bosco a fronte compatto. Questa prima caratteristica è stata presa come criterio fondamentale per la scelta del transetto. Per poter apprezzare eventuali influenze dovute a variazioni dei fattori climatici, è necessario che la specie si trovi il più possibile in condizioni di naturalità. In questo modo infatti si minimizzano tutte le azioni di disturbo dovute ad agenti esterni ed in particolare a pressione antropica.

In seconda battuta è stata presa in considerazione la vegetazione di contatto. Sulla base di quanto emerso dall'analisi trattata nel Capitolo 3, la formazione climax oltre il limite del bosco è rappresentata dalla brughiera a mirtilli. Nella ricerca del transetto quindi è stato inserito anche questo criterio fra quelli fondamentali.

La quota di campionamento è stata scelta in modo tale da risultare rappresentativa per la specie da un lato e sufficientemente elevata in modo da poter prendere in considerazione i fattori climatici come limitanti. Si è quindi cercato di rimanere fra i 1700 e i 1900 metri di quota, range rappresentativo delle altitudini medie raggiunte sull'Appennino settentrionale.

L'esposizione Nord è quella prevalente in questo tratto dell'Appennino. Nel primo anno di campionamento quindi si è scelto di rimanere su versanti che presentavano questa esposizione. Nell'anno successivo invece si è cercato di variare esposizione in modo tale da indagare anche eventuali influenze a carico di questa variabile.

Infine, l'ultimo criterio riguarda la presenza di plantule oltre il limite del bosco. Nel valutare la risposta del faggio alle variazioni climatiche si è pensato anche ad un possibile avanzamento della specie lungo il crinale. La presenza di plantule si porrebbe quindi come eventuale testimonianza di questa risalita.

6.1 Aree di studio

6.1.1 Il Monte Rondinaio

Il transetto sul Monte Rondinaio ha esposizione prevalentemente Nord. Gli alberi oltre il limite del bosco sono piuttosto distanti da quelli sottostanti e si presentano in gruppi isolati (Fig. 6.1). Sia nel plot GH che nel plot GT sono frequenti morfologie contorte (Fig. 6.2).

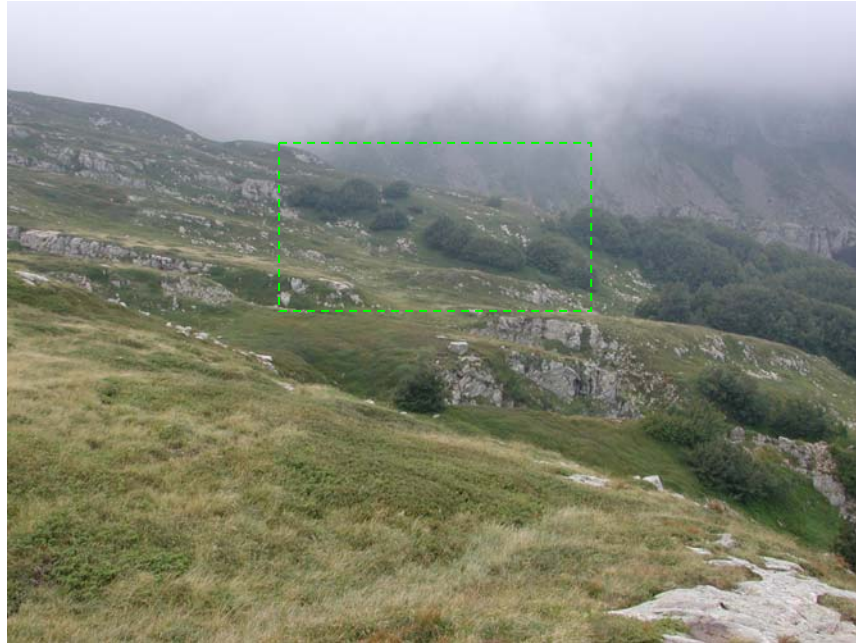


Figura 6.1. Monte Rondinaio. Plot oltre il limite degli alberi (RH), tratteggio verde.



Figura 6.2. Monte Rondinaio. Plot al limite degli alberi (RT).

La vegetazione oltre il limite è caratterizzata dalla presenza della brughiera a mirtilli a dominanza di *Vaccinium myrtillus* e *Vaccinium gaultherioides*. Sono presenti inoltre altri arbusti fra cui l'empetro (*Empetrum hermaphroditum*) e il ginepro nano (*Juniperus nana*).

6.1.2 Il Monte Giovo

La morfologia di questo transetto ricorda quella dell'area precedente. Anche qui infatti esistono gruppi di alberi più elevati in quota di circa 20 m rispetto al limite del bosco (Figg. 6.3, 6.4).



Figura 6.3. Monte Giovo. Plot oltre il limite del bosco (alberi isolati) e plot al limite.

Il portamento degli alberi però, sia al limite che sotto, è più eretto se confrontato con le morfologie riscontrate sul Monte Rondinaio. Sono evidenti qui le tipiche forme a bandiera dovute all'azione modellatrice del vento (Fig. 6.5).

La vegetazione sopra il limite è caratterizzata dalla brughiera a mirtilli con *Vaccinium myrtillus* e *V. gaultherioides*. Anche qui è presente il ginepro nano e si incontrano inoltre specie tipiche della prateria a *Brachypodium genuense*.



Figura 6.4. Monte Giovo. Alberi con portamento a bandiera.

6.1.3 Il Monte Prado

Il transetto scelto per il campionamento sul Monte Prado presenta una morfologia tipica del limite del bosco. In questo caso in fatti gli alberi che formano il plot oltre il limite sono a ridosso del limite del bosco stesso (Fig. 6.5).



Figura 6.5. Monte Prado. In primo piano il gruppo di alberi che forma il plot oltre il limite del bosco (PH). In secondo piano parte del plot PT.

Questa situazione corrisponde bene a quanto noto in letteratura sulle esigenze delle plantule di faggio (per una sintesi, vedi Crawford, 1989). Queste necessitano, nella loro prima fase di vita, della copertura parentale che le protegge e ne permette la crescita. Per questo motivo la tendenza generale del faggeto è quella di avanzare con fronte compatto, con nuovi individui che crescono a stretto contatto con quelli adulti. Anche qui la vegetazione oltre il limite del bosco è dominata da brughiere a mirtilli con presenze di ginepro nano.

6.1.4 Il Monte Cusna

Il transetto sul Monte Cusna presenta una morfologia piuttosto singolare. Il plot oltre il limite del bosco (CH) risulta infatti completamente isolato, per cause geomorfologiche, dal bosco sottostante (Fig. 6.6). Qui gli alberi sono cresciuti con forme erette, tipiche di una situazione che si riscontra di solito in aree protette dall'azione modellatrice del vento.

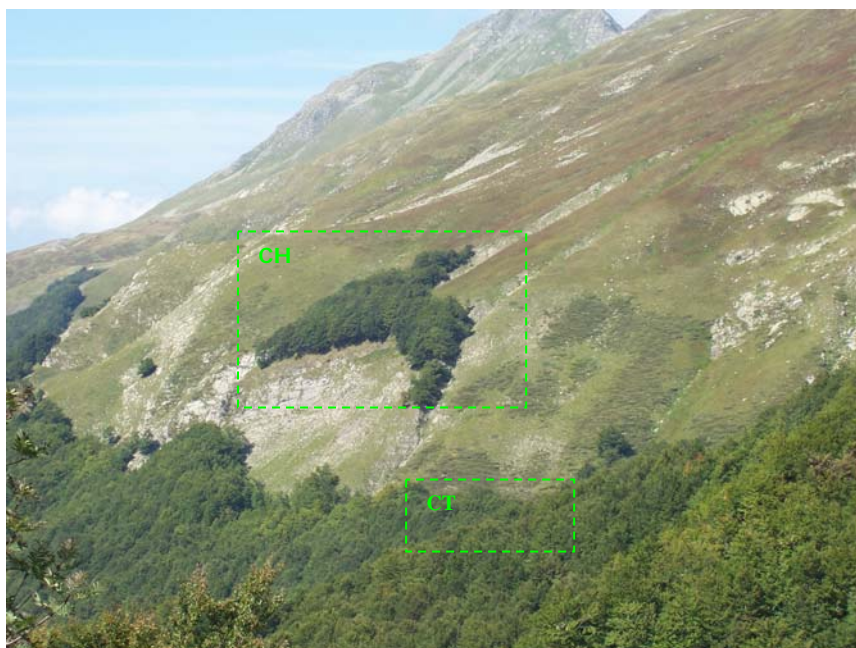


Figura 6.6. Monte Cusna. Ben visibile l'isola, con una forma che ricorda quella di un delfino, che forma il plot CH, oltre il limite del bosco.

Lo stesso portamento si riscontra negli alberi che formano il limite del bosco (Figg. 6.7, 6.8). Occorre precisare però che il plot CT non è stato preso esattamente al di sotto dell'isola di altitudine. Subito al di sotto del plot CH infatti la pendenza è troppo elevata e non permette il campionamento. Per questo motivo il plot al limite del bosco è stato preso leggermente ad Est del plot superiore.



Figura 6.7. Monte Cusna. Vista frontale, dall'alto, del plot CT al limite del bosco.



Figura 6.8. Monte Cusna. Il plot più basso in quota (CL) visto dall'interno.

La vegetazione oltre il limite è composta da brughiere a mirtilli strettamente intercalate con pascoli a nardo (*Nardus stricta*).

6.2 Il campionamento

All'interno di ogni transetto sono stati individuati 3 plot: il primo oltre il limite del bosco, indicato di seguito come plot H (*Highest*), il secondo al limite del bosco e definito come plot T (*Treeline*) e infine il terzo, 50 metri sotto il precedente, denominato plot L (*Low*).

I plot hanno la dimensione prestabilita di 30 x 10 metri lineari. Tuttavia le grandezze non sono state rispettate per il plot il limite perché gli alberi isolati sono spesso riuniti in gruppi e non permettono quindi di definire una copertura continua, ma solo gruppi di individui sparsi. All'interno di ogni plot sono stati scelti i 12 individui a diametro maggiore. Per ogni albero sono stati prelevati due campioni, tramite succhiello di Pressler, ad un'altezza di 85 cm e ad una distanza di 120° uno dall'altro cercando di evitare la linea di massima pendenza, così da non incorrere in legno di reazione. I campioni sono stati prelevati, avvolti in carta di giornale e riposti in una scatola rigida che ha permesso di preservarli intatti nella forma. In alcuni casi non è stato possibile raccogliere il numero di campioni deciso perché il plot oltre il limite non era sufficientemente rigoglioso da ospitare un numero di alberi così elevato.

Le plantule sono state raccolte unicamente durante la prima campagna di campionamenti, quindi solo oltre il limite del bosco del Monte Rondinaio e del Monte Prado.

Il campionamento del ginepro nano si è dimostrato più complicato del previsto. Questa specie è caratterizzata da un portamento arbustivo prostrato con rami contorti e intricati. Per questo motivo è difficile riuscire a risalire all'origine del tronco sia a livello visivo che pratico ed è quindi impossibile capire in quale punto si sta effettuando il campionamento. Le macchie di ginepro inoltre sono formate da più piante che si intrecciano fra loro. La metodologia di campionamento adottata quindi si è basata sulla scelta, all'interno di un gruppo di ginepri, di quello che presentava il tronco più grosso. Una volta scelto l'arbusto da campionare si è cercato di risalire il più possibile all'origine del tronco e qui, di prelevare il campione. Sono stati raccolti 12 esemplari per transetto, subito al di sopra del limite del bosco.

7. Analisi dendrocronologiche

La misurazione di ogni anello di una singola carota dà origine alla cronologia relativa alla carota stessa ovvero ad una *serie elementare*. La media delle due cronologie elementari riferite alla stessa pianta fornisce la curva di accrescimento anulare della pianta, la *cronologia individuale*. Le cronologie individuali rappresentano la fluttuazione di accrescimento di ogni individuo, indotte dalle combinazioni dei differenti fattori esogeni e endogeni, tra cui: patrimonio genetico, età degli individui, condizioni microstazionali (disponibilità idrica e di elementi nutritivi), influenza dei fattori biotici e abiotici (attacchi parassitari, concorrenza intra e interspecifica, incendi, condizioni climatiche estreme). Infine, a partire dalla media di tutte le cronologie elementari o individuali appartenenti alla stessa area di saggio si ottiene la *cronologia di sintesi* (o cronologia media) della popolazione. Queste curve riducono al minimo le variazioni dovute alle caratteristiche delle singole piante ed esprimono la loro influenza media sull'accrescimento delle piante nella stazione considerata (Fritts, 1976). L'insieme delle analisi sull'andamento dell'accrescimento radiale e sulle correlazioni con il clima è stato realizzato utilizzando le cronologie di sintesi.

7.1 Preparazione dei campioni

I campioni avvolti in carta di giornale sono stati conservati all'interno di una stanza ben areata per alcuni mesi. Giunto il momento dell'analisi sono stati scartati e incollati su supporti lignei creati appositamente. Ogni supporto presenta infatti al centro un condotto all'interno del quale viene posta la colla sulla quale andrà poi a fissarsi la carota. È di estrema importanza che i campioni vengano incollati in modo che le fibre siano perpendicolari al sostegno. Questo infatti è l'unico modo che permette di ottenere una sezione trasversale, con anelli annuali ben visibili. Una volta montati i campioni sui supporti si è passati alla fase di levigatura. Ogni singolo campione è stato levigato grazie all'impiego di una levigatrice a nastro con carta abrasiva a tessitura via via più fine. Le sezioni delle piante di faggio, i campioni di mirtillo e di ginepro sono stati prima ridotti ad uno spessore di qualche centimetro e poi levigati (Figura 7.1). La preparazione della plantule invece ha previsto prima il taglio delle stesse all'altezza del colletto e poi tagli successivi a distanza di 10 centimetri. Ogni singola parte è stata poi levigata.



Figura 7.1. Rotella di faggio dopo la levigatura.

7.2 Datazione e misura dell'ampiezza anulare

I campioni di faggio sono stati datati allo stereoscopio (Wild M3Z Leica, Germany). Successivamente è stata misurata l'ampiezza anulare di ogni singolo anello grazie all'impiego di una tavola di misurazione (Lintab) collegata sia allo stereoscopio sia ad un software di misurazione ed analisi dei dati (Tsap, F. Rinn, Heidelberg, Germany), con una precisione del centesimo di millimetro. In questo modo ad ogni carota corrisponde sia un'età sia una serie elementare, ovvero l'andamento dell'accrescimento anulare nel tempo. Lo stesso procedimento è stato utilizzato per ricavare gli andamenti dell'accrescimento anulare del ginepro. Le plantule sono state solo datate e non si è proceduto alla misurazione degli anelli. La maggior parte di questi piccoli campioni copre periodi di pochi anni e le eventuali cronologie che ne sarebbero derivate non avrebbero fornito risposte statisticamente significative perché troppo brevi. La datazione è stata fatta su ogni parte di ogni singola pianta precedentemente tagliata ad intervalli di 10 cm ed è quindi stato possibile valutare, limitatamente ai campioni raccolti, l'età della plantula in relazione all'altezza. Ai campioni di mirtillo è stato riservato un trattamento diverso. La datazione di questi campioni tramite stereoscopio si è rivelata quasi impossibile. Gli anelli formati da entrambe le specie di mirtillo (*Vaccinium ghaultherioides* in particolare) non sono nitidi, ma rimangono molto confusi e sembrano addirittura confluire uno nell'altro.

E' stato quindi fatto un tentativo successivo. Da un numero scelto di campioni (12 esemplari a diametro maggiore) sono state ricavate sezioni dello spessore di 10 μm . In questo modo è stato possibile osservare i campioni al microscopio ottico (Figura 7.2). La datazione si è rivelata comunque estremamente imprecisa e per questo motivo la preparazione e la datazione dei campioni sono state limitate ai 12 campioni scelti in prima battuta.

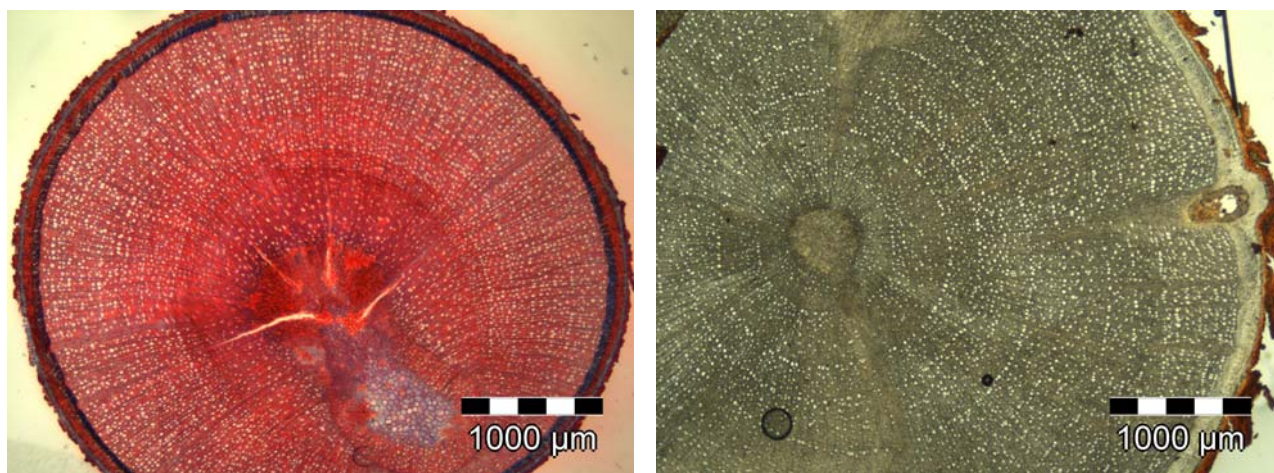


Figura 7.2. Sezioni di mirtillo (*Vaccinium myrtillus*) fotografata al microscopio ottico. Il campione di sinistra è stato preventivamente colorato con Safranina (soluzione acquosa 1%) e con Blu d'Anilina in soluzione con Acido picrico.

7.3 Cross-datazione

La cross-datazione (datazione incrociata) è un procedimento utilizzato per controllare e validare le misurazioni delle ampiezze anulari. Le serie anulari sono state esaminate prima tramite cross-datazione visiva, poi tramite l'utilizzo del software Cofecha (Versione 6.06P, Holmes, 1999). Le cronologie relative ad ogni singolo campione sono state plottate. Il confronto visivo viene fatto ponendo due cronologie una sopra l'altra, sopra un piano luminoso, in modo da poter apprezzare gli andamenti di entrambe le serie, analizzate in controluce. L'analisi viene prima effettuata fra le due cronologie elementari di una stessa pianta. Durante la fase di datazione, per ogni plot viene scelta una cronologia di riferimento sulla base della facilità di misurazione e della linearità e chiarezza degli anelli. Tutte le cronologie del plot vengono quindi confrontate con il riferimento. Il processo vero e proprio di cross-datazione consiste principalmente nello stabilire concordanze fra gli andamenti delle due serie cronologiche di volta in volta analizzate, ovvero nella ricerche di coincidenze fra le curve. Non è inusuale infatti trovare

due serie cronologiche che presentano una sequenza di anelli caratteristici traslate di uno o più anni l'una rispetto all'altra (Figura 7.3).

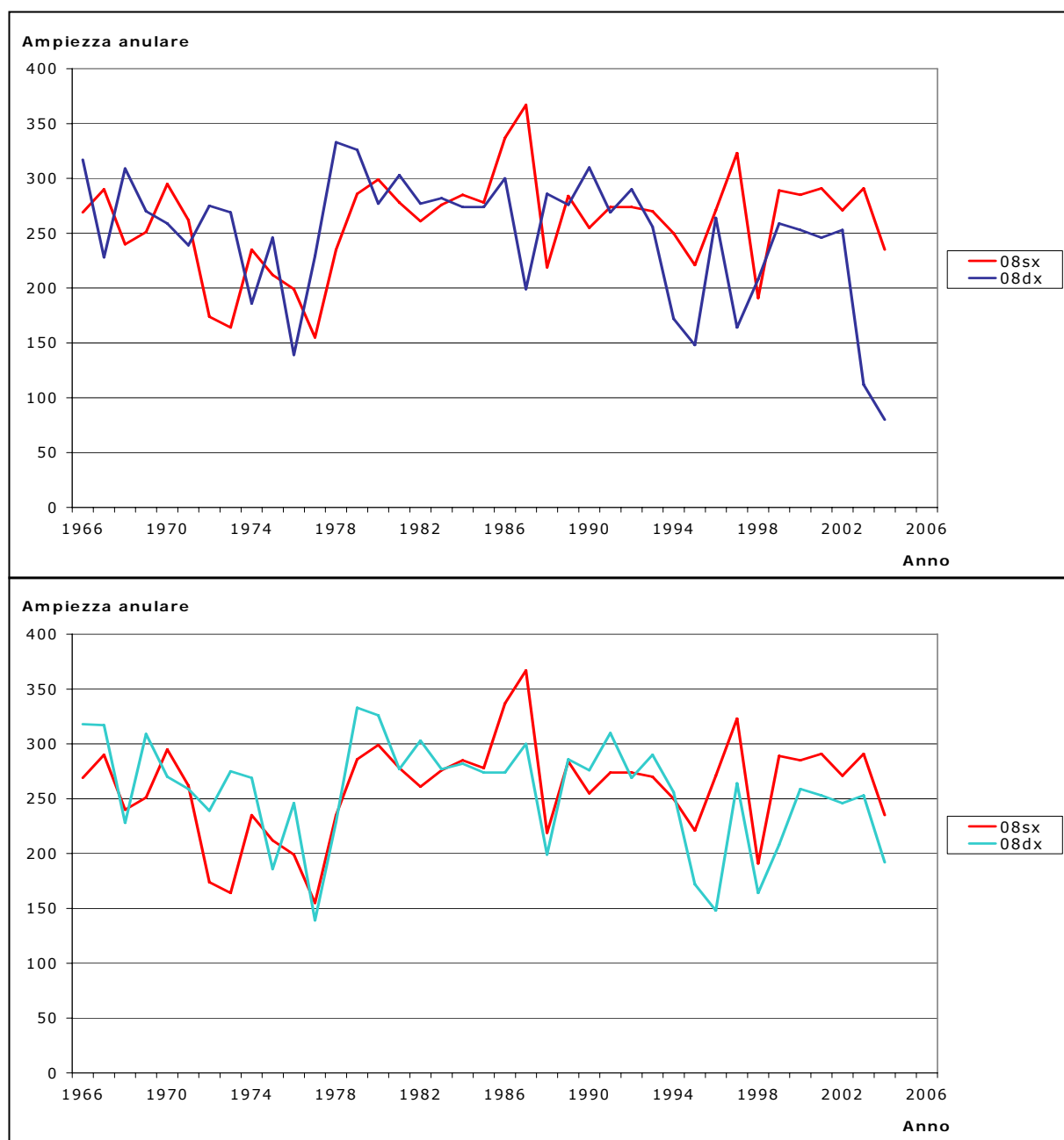


Figura 7.3. Esempio di cross-datazione. Dal primo grafico (in alto) è evidente che le due cronologie risultano traslate di un anno, una rispetto all'altra. Dopo una attenta analisi del campione è risultato infatti che la presenza di due anelli sottili negli ultimi anni della cronologia 08dx era frutto di un errore di lettura: un singolo anello era stato letto come fosse composto da due anelli più piccoli. Nel secondo grafico, alla cronologia 08dx, gli spessori degli anelli relativi al 2003 e al 2004 sono quindi stati sommati in un unico anello. Una volta corretto l'errore di lettura, le due cronologie risultano in perfetta sincronia.

Una volta individuate tali sequenze si risale all'origine della discordanza che può essere dovuta ad errori durante la misurazione o ad anelli mancanti in una delle due serie. In entrambi i casi si passa alla correzione aggiungendo o sottraendo alla cronologia uno o più anni, oppure, se lo si ritiene necessario, rimisurando il campione che si ritiene inesatto e sottoponendolo nuovamente al procedimento di confronto.

Il software Cofecha opera un controllo di qualità su una serie di dati che vengono forniti in input. Il programma crea automaticamente una serie master e confronta tutte le altre con questa cronologia di riferimento. Gli anni critici sono individuati come anni che causano una forte variazione, in senso positivo o negativo, nel valore della correlazione fra la serie analizzata e la cronologia di riferimento. Le anomalie che vengono riscontrate all'interno di una cronologia vengono riportate singolarmente nell'output del programma. Oltre alle indicazioni sui possibili errori di misurazione, il programma fornisce anche una serie di parametri statistici, il cui valore può essere preso come riferimento per valutare la bontà della datazione. I valori di questi parametri sono descritti e riportati di seguito, inseriti all'interno di un'analisi statistica che prende in considerazione anche altre grandezze rispetto a quelle fornite dal programma.

7.4 Analisi statistica dei dati

Le serie cronologiche sono state analizzate sotto il profilo statistico grazie all'impiego di alcuni parametri (Tabella 7.1, Tabella 7.2) fra cui: media (M); deviazione standard (STD), coefficiente di variazione (CV), sensitività media (SM), coefficiente di interdatazione (CI), coefficiente di autocorrelazione di primo ordine (CA_1).

Media (M), deviazione standard (STD) e coefficiente di variazione (CV)

La media esprime una stima del valore centrale dell'ampiezza anulare registrata all'interno di una popolazione. La deviazione standard fornisce una stima dello scarto dalla media e fornisce quindi indicazioni sul grado di omogeneità dei dati nell'ambito della cronologia considerata. Il coefficiente di variazione invece, in quanto rapporto fra la media e la deviazione standard corrispondente, permette un confronto fra diverse cronologie.

Tabella 7.1. Valori di alcuni parametri statistici calcolati. M= media (mm), STD= deviazione standard relativa alla media, CV= coefficiente di variazione.

Transetto	Plot	Piante	Periodo	Anni	M	STD	CV
M. Rondinaio	RH	20	1940-2003	64	0.76	0.19	0.25
	RT	20	1929-2003	75	0.83	0.20	0.24
	RL	16	1952-2003	52	1.54	0.21	0.14
M. Giovo	GH	10	1953-2004	52	0.61	0.24	0.39
	GT	22	1952-2004	53	1.18	0.23	0.19
	GL	16	1911-2004	94	0.48	0.13	0.47
M. Prado	PH	11	1976-2003	28	1.55	0.51	0.33
	PT	22	1934-2003	70	1.31	0.30	0.23
	PL	21	1952-2003	52	1.68	0.27	0.16
M. Cusna	CH	24	1911-2004	94	1.26	0.33	0.26
	CT	21	1860-2004	145	1.12	0.23	0.21
	CL	23	1910-2004	95	1.51	0.43	0.28

Sensitività media (STD)

Secondo la proposta di Fritts (1976) la sensitività media è misurata come coefficiente di sensitività media:

$$\overline{S} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} |S_i + 1|}{n - 1}$$

dove x_i = ampiezza anulare nell'anno i ;

x_{i+1} = ampiezza anulare nell'anno seguente;

n = numero di anni considerati.

ed indica la differenza fra 2 valori successivi in una serie.

Il coefficiente di sensitività media esprime le variazioni a più alta frequenza (Tessier, 1984) misurando l'importanza dei cambiamenti a breve termine (Munaut, 1979).

Mediante l'analisi della sensitività è infatti possibile determinare fino a che punto la crescita di una specie in una particolare area è influenzata dai fattori ambientali. Maggiore è il valore della sensitività, maggiore sarà l'influenza, sulla specie, esercitata dai fattori climatici e quindi più alto sarà anche il contenuto di informazioni all'interno delle cronologie (Corona, 1966). Una specie viene definita *sensitiva* se presenta valori maggiori di 0.25. In caso contrario si definisce *compiacente*. Nei campioni esaminati il faggio risulta essere una specie mediamente sensitiva. La sensitività media viene calcolata sia per le serie elementari che per quelle individuali e di sintesi. Tuttavia l'incidenza dei fattori climatici viene valutata sulla cronologia di sintesi. Valori elevati per

cronologie singole infatti possono corrispondere a fluttuazioni asincrone da una serie all'altra, legate ad una eterogeneità stazionale o genetica e possono quindi portare a conclusioni errate circa la sensibilità della specie (Tessier, 1984). Nella cronologia di sintesi invece gli apporti di ogni singolo individuo vengo mitigati e si ottiene quindi una serie più omogenea e con valori di sensibilità minori. Da queste considerazioni scaturisce la necessità di utilizzare un ulteriore parametro, il coefficiente di interdatazione.

Tabella 7.2. Valori di sensibilità media riferiti alle cronologie elementari, individuali e di sintesi, coefficiente di interdatazione (CI) e coefficiente di autocorrelazione (CA₁).

Transetto	Plot	SM			CI	CA ₁
		cronologie elementari	cronologie individuali	cronologie di sintesi		
M. Rondinaio	RH	0.36	0.32	0.12	0.38	0.75
	RT	0.32	0.29	0.14	0.48	0.73
	RL	0.29	0.26	0.14	0.54	0.90
M. Giovo	GH	0.46	0.42	0.25	0.60	0.64
	GT	0.31	0.28	0.18	0.64	0.78
	GL	0.32	0.29	0.15	0.52	0.73
M. Prado	PH	0.35	0.27	0.14	0.52	0.77
	PT	0.31	0.26	0.13	0.50	0.92
	PL	0.27	0.24	0.12	0.50	0.75
M. Cusna	CH	0.34	0.30	0.20	0.66	0.78
	CT	0.30	0.25	0.12	0.48	0.80
	CL	0.28	0.25	0.15	0.60	0.84

Coefficiente di interdatazione (CI)

Il coefficiente di interdatazione è dato dal rapporto fra la sensibilità media della cronologia di sintesi e la media della sensibilità media delle cronologie individuali:

$$CI = \frac{SMS}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n SMI_i}$$

dove SMS= sensibilità media della cronologia di sintesi;

SMS_i= sensibilità media delle cronologie individuali;

n= numero di cronologie individuali che compongono la cronologia di sintesi.

Questo parametro permette di valutare in modo sintetico l'omogeneità delle risposte all'interno di un'area di saggio e quindi la buona sincronia di risposta da parte delle cronologie individuali. Il suo valore varia da 0 a 1: valori di 0.7-0.9 denotano un

comportamento omogeneamente sensitivo negli individui che compongono la popolazione e quindi una risposta sincrona alle variazioni dei fattori climatici; valori nell'intorno dello 0.4 sono tipici di popolazioni disformi (Corona, 1986). I valori riscontrati sulle aree di saggio ci collocano in una posizione intermedia rispetto ai limiti riportati sopra. I risultati confermano una risposta sufficiente della specie ai fattori climatici in tutte le stazioni.

Coefficiente di autocorrelazione (CA1)

Il coefficiente di correlazione di Pearson (R) calcolato su due serie è un metodo utile per ricavare informazioni sul sincronismo delle serie stesse. Il suo valore varia fra -1 e +1. Questi 2 valori stanno ad indicare rispettivamente una correlazione indiretta e diretta perfetta. Nel caso in cui il parametro assuma valore 0, le due serie analizzate risultano perfettamente indipendenti. Il coefficiente di autocorrelazione non è altro che un coefficiente di correlazione calcolato sulla stessa serie cronologica. A partire da ogni serie cronologica infatti è possibile creare nuove serie semplicemente traslando i dati originali di un numero di anni da 1 a k. Se $k=1$, come nel nostro caso, avremo un coefficiente di autocorrelazione di primo grado. In questo modo è possibile valutare eventuali legami esistenti fra l'anello al tempo t e l'anello al tempo $t+1$. In questo modo, l'analisi del profilo dei coefficienti di correlazione costituisce un eccellente metodo di studio del segnale complesso contenuto all'interno di ogni serie temporale (Tessier, 1984): le variazioni cicliche, le variazioni a bassa frequenza e i trend dovuti all'età.

I valori calcolati per le aree di saggio sono piuttosto alti, a testimoniare l'esistenza di effetto retroattivo dell'anno precedente sull'accrescimento dell'anno in corso.

7.5 Dati meteoclimatici

La limitata disponibilità di stazioni climatiche in aree di alta quota rappresenta un limite nelle ricerche dendroclimatiche. Tuttavia, tale problema può essere facilmente superato utilizzando serie climatiche di stazioni poste anche ad una certa distanza dal sito di campionamento, ottenendo risultati comunque soddisfacenti (Nola, 1995).

La scelta delle stazioni meteo da utilizzare per il calcolo delle correlazioni con le cronologie ricavata dall'analisi dendrocronologica si è basata quindi sia sulla posizione delle stazioni stesse sia sulla qualità dei dati. Molte stazioni infatti, per quanto vicine all'area di studio, presentavano serie troppo discontinue per essere prese come riferimento. Nello specifico sono state scelte le stazioni di Ligonchio ($44^{\circ} 18' N$; $10^{\circ} 21' E$; 940 m slm) per l'area del M. Prado - M. Cusna e la stazione di M. Cimone ($44^{\circ} 12' N$; $10^{\circ} 42' E$; 2165 m slm) per l'area del M. Giovo - M. Rondinaio. I dati utilizzati sono quelli di temperatura giornaliera e precipitazione totale mensile con inizio, in relazione alle due

stazioni, rispettivamente negli anni 1926 (Ligonchio) e 1964 (M. Cimone). Tuttavia, data l'estrema brevità delle serie di dati in relazione alla lunghezza di alcune serie cronologiche, si è deciso di utilizzare anche i dati della stazione meteorologica di Bologna (44° 30' N; 11° 21' E; 56 m slm) che si presentano con una lunga serie cronologica che ha inizio nel 1813. Le stazioni di riferimento scelte inizialmente sono però molto distanti dalla stazione meteorologica di Bologna, sia in linea d'aria sia in altitudine. Per questo motivo, onde evitare di trarre conclusioni non attendibili, prima di utilizzare i dati della stazione di Bologna, questi ultimi sono stati confrontati, tramite il calcolo di correlazioni (indice di correlazione di Pearson), con i dati forniti per le due stazioni di riferimento. I valori restituiti dall'analisi mostrano un livello di correlazione estremamente alto sia per la stazione di Ligonchio che per la stazione del M. Cimone ($P \leq 0.001$; $r = 0.97$; $r = 0.91$, rispettivamente). Questi risultati però sono riferiti unicamente alle temperature medie. Le stesse analisi proposte sui dati di precipitazione totale mensili non hanno dato esiti altrettanto positivi. I valori riscontrati non sono infatti sufficientemente alti da permettere l'utilizzo dei dati di Bologna per le nostre aree di studio. In conseguenza si è deciso di utilizzare unicamente i valori di temperatura per il calcolo delle correlazioni e di riferirsi ai valori di precipitazione unicamente per un'analisi anno per anno (di seguito esposta) con riferimento ad episodi su larga scala.

7.6 Relazioni clima-accrescimento

Analisi dei pointer years

La pianta si comporta come un registratore di segnale climatico. Le variazioni che avvengono nell'ambiente che ospita la specie, si riflettono infatti sull'andamento dell'accrescimento anulare di ogni singola pianta. Per questo motivo eventi con carattere particolarmente marcato (estrema siccità, aumento brusco di temperatura) trovano un riscontro visivo nell'ampiezza dell'anello e permettono quindi di risalire all'entità della variazione e al periodo esatto. Così come vengono registrate le risposte ai cambiamenti dei fattori climatici, allo stesso modo sono evidenti le reazioni di una pianta a variazioni che interessano l'ambito fisiologico. Una riduzione della crescita, per esempio, può essere ricondotta ad un periodo di sofferenza della pianta le cui cause esulano da quelle climatiche (attività antropica, carenza di sostanze nutritive). Allo stesso modo, una crescita brusca nell'ampiezza anulare può testimoniare un passato interevento che ha portato ad un miglioramento nelle condizioni di vita della pianta (es. aumento nella disponibilità di risorse grazie ad un taglio selettivo nelle immediate vicinanze di una pianta). Nel nostro caso, tuttavia, l'attenzione va posta nei confronti di quelle variazioni che vedono il clima come causa principale. Le variazioni puntuali e immediate che si

vanno a cercare sono quindi causate da variazioni che interessano non un singolo individuo, ma l'insieme della popolazione appartenente all'area di saggio. Gli anni che presentano un andamento anomalo nella crescita dell'albero vengono indicati come *pointer years*. La ricerca di anomalie viene effettuata sulla cronologia di sintesi in modo da evitare variazioni che interessano solo un individuo. Nella cronologia di sintesi infatti, anomalie presenti a livello di un singolo individuo vengono assorbite dalla media con i dati relativi agli altri campioni. All'interno di questo studio i *pointer years* sono stati identificati come i 10 anelli con ampiezza minore (*pointer years* negativi) e i 10 anelli con ampiezza maggiore (*pointer years* positivi) su ogni cronologia media. I periodi che presentano più di 3 anomalie annuali in sequenza vengono trattati come fasi di crescita e quindi non vengono considerati all'interno di una analisi anno per anno.

Correlazioni con i dati climatici

Per ricercare e valutare un eventuale legame fra le cronologie e i dati climatici è stato utilizzato l'indice di correlazione di Pearson che permette di evidenziare relazioni di tipo lineare fra due variabili. Le correlazioni sono state calcolate fra la media dei dati grezzi relativa ad ogni plot è l'andamento delle temperature medie registrato sulla stazione di Bologna. Oltre alla temperatura media annuale sono state prese in considerazione anche la media estiva (calcolata sui 4 mesi da giugno a settembre) e la media invernale che comprende i mesi di dicembre, gennaio e febbraio. Inoltre per l'area del M. Giovo-M. Rondinaio sono state valutate anche le correlazioni con i dati della stazione meteorologica del M. Cimone. Lo stesso è stato fatto per l'area del M. Prado-M. Cusna con la stazione di Ligonchio.

In un secondo tempo si sono ricercate anche relazioni fra le serie anulari e l'andamento delle precipitazioni. In questo caso però non è stato possibile utilizzare i dati relativi alla stazione di Bologna e si è quindi fatto riferimento ai dati del M. Cimone e di Ligonchio.

I dati di temperatura del M. Cimone sono inoltre stati utilizzati per valutare eventuali influenze a carico delle basse temperature durante la stagione vegetativa. A tal fine sono stati presi in considerazione i dati di temperatura minima mensile e giornaliera sul periodo da Aprile a Giugno. Tali dati sono stati impiegati per definire e calcolare due diverse medie. La prima, definita media assoluta, è stata calcolata utilizzando i minimi assoluti mensili; la seconda, media relativa, impiegando la media dei valori minimi giornalieri, sul periodo di un mese.

In tutti i casi sopra esposti le correlazioni sono state valutate sia su periodi sincroni sia traslati di un anno (es. valutando l'influenza delle temperature del 1980 sull'accrescimento anulare del 1981). In questo secondo caso si tiene conto anche di

possibili effetti ritardati delle variazioni climatiche sull'accrescimento. Variazioni che si riscontrano in un determinato anno a livello di ampiezza anulare possono infatti trovare la loro causa nell'assetto termo-pluviomentrico dell'anno precedente.

Funzioni di risposta

La funzione di risposta (Fritts & al. 1971; Fritts, 1976) è l'equazione statistica di calibrazione capace di esprimere separatamente gli effetti relativi di numerosi fattori climatici sull'ampiezza degli anelli. Può quindi essere interpretata come l'attitudine di un modello statistico a stimare la parte della variazione dello spessore dell'anello attribuibile ai fattori ambientali (Hughes & Milson, 1982). Il calcolo delle funzioni di risposta prevede il confronto fra due variabili sincrone: la variabile dipendente (ampiezza anulare) e la variabile indipendente (parametri climatici). Nel caso specifico, le funzioni di risposta sono state calcolate per le cronologie medie relative ad ogni plot. Per tutte le aree i dati di temperatura della stazione di Bologna sono stati presi come riferimento. Per l'area del M. Giovo-M. Rondinaio sono anche stati utilizzati i dati di precipitazione relativi alla stazione del M. Cimone. Per l'area M. Prado-M. Cusna i dati relativi alle precipitazioni sono stati presi dalla stazione di Ligonchio. In tutti i casi sono state utilizzate le medie mensili per la temperatura e le somme mensili per le precipitazioni. Tutti i dati sono stati elaborati dal software Precon (Version 5.17B, H. Fritts, Tucson, Arizona). Come periodo di riferimento è stato preso l'anno biologico, ovvero il periodo compreso tra il mese di ottobre precedente alla formazione dell'anello e quello di ottobre dell'anno contemporaneo alla sua formazione (periodo adottato classicamente nelle analisi delle relazioni clima/accrescimento).

8. Risultati

8.1 Età degli alberi

Le Figure 8.1, 8.2, 8.3 e 8.4 riportano i diagrammi relativi all'età degli alberi, suddivisi per transetto e, all'interno di ogni transetto, per plot, disposti in sequenza altitudinale.

E' necessario ricordare, prima di procedere con la presentazione dei risultati, che i campionamenti sono stati effettuati ad una altezza di 85 cm dal suolo. Per questo motivo i periodi che verranno di seguito identificati come "anni caratterizzati da un incremento delle nascite" testimoniano per certo un periodo di buona riproduzione della specie, ma non indicano con esattezza quale sia questo periodo. L'anno da noi registrato come primo anno della cronologia dell'albero non corrisponde infatti all'anno di nascita ma all'anno nel quale l'albero ha raggiunto gli 85 cm di altezza. Si può verosimilmente ritenere che la maggior parte delle piante raggiungano questa altezza nello stesso periodo di tempo e che quindi un aumento nel numero di individui in un preciso spazio temporale testimoni un precedente periodo di aumento delle nascite (anno di pasciona).

Sul M. Rondinaio (Fig. 8.1) non sono state registrate particolari differenze fra le età lungo i 3 plot che formano il transetto. Le nascite sono infatti distribuite su tutto l'arco di tempo che va dalla metà del XIX secolo fino agli anni '70. Sia nel plot RH (oltre il limite degli alberi) che nel plot RT (al limite degli alberi) è evidente un periodo di incremento delle nascite attorno agli anni 1900-1910.

Anche sul M. Giovo (Fig. 8.2) le nascite sono distribuite uniformemente su un discreto arco di tempo. Va notata, anche in questo caso, una concentrazione di nascite nel periodo 1900-1910, che interessa questa volta il plot più basso in quota (GL). Nel plot GT invece, al limite del bosco, lo stesso aumento interessa anni posteriori, dal 1940 al 1950.

Decisamente diversa si presenta la situazione sul M. Prado (Fig. 8.3). Sul plot oltre il limite (PH), infatti, gli alberi risultano essere più giovani rispetto a quelli sottostanti, cresciuti al limite del bosco. Se ci si abbassa ancora in quota e si arriva al plot più basso, PL, l'età cala ancora e si pone in una posizione intermedia fra le due precedenti. Sul primo plot (PH) inoltre le nascite sono tutte concentrate in un breve lasso di tempo che ha inizio a metà degli anni '60 e termina a metà del decennio successivo. La stessa situazione si verifica nell'ultimo plot (PL) in cui il periodo di germinazione ha inizio nel secondo decennio del secolo XX e termina a metà dello stesso. Il plot alla quota intermedia presenta incrementi, seppur di minor entità, agli inizi della seconda metà del 1800 e dal 1930 al 1940.

Il transetto del Monte Cusna (Fig.8.4), presenta risultati simili ai primi due transetti (Rondinaio e Giovo). In questo caso però gli alberi sembrano essere tendenzialmente più vecchi rispetto alle aree precedenti. In nessun caso sono presenti individui di età inferiore ai 35 anni. Anche nel plot al limite del bosco sul monte Cusna è stato registrato un aumento delle nascite negli anni dal 1850 al 1870, come nel plot al limite del bosco sul Monte Prado.

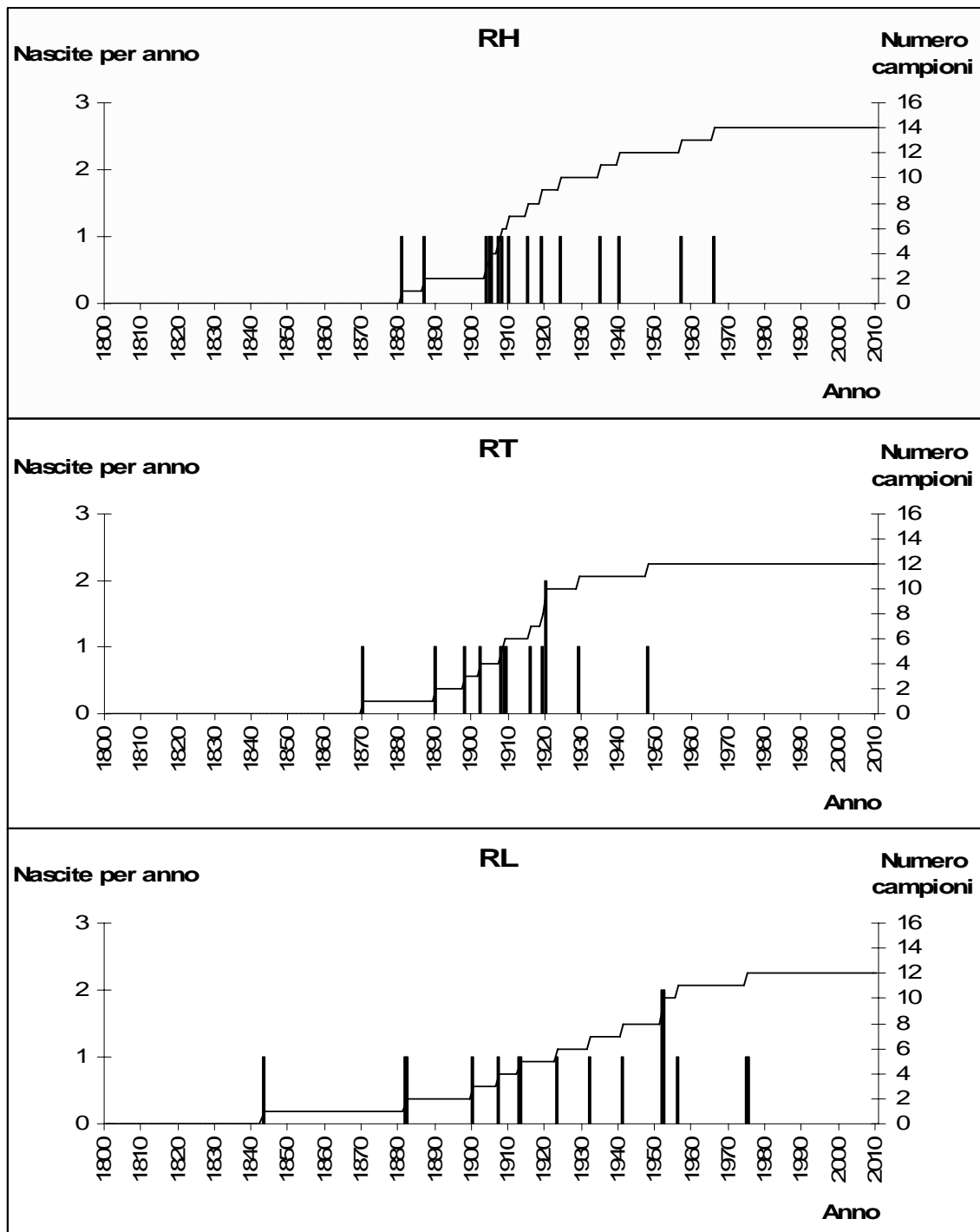


Figura 8.1. M. Rondinaio: età degli alberi. H= plot oltre il limite degli alberi; T= plot al limite degli alberi; L= plot sotto il limite degli alberi.

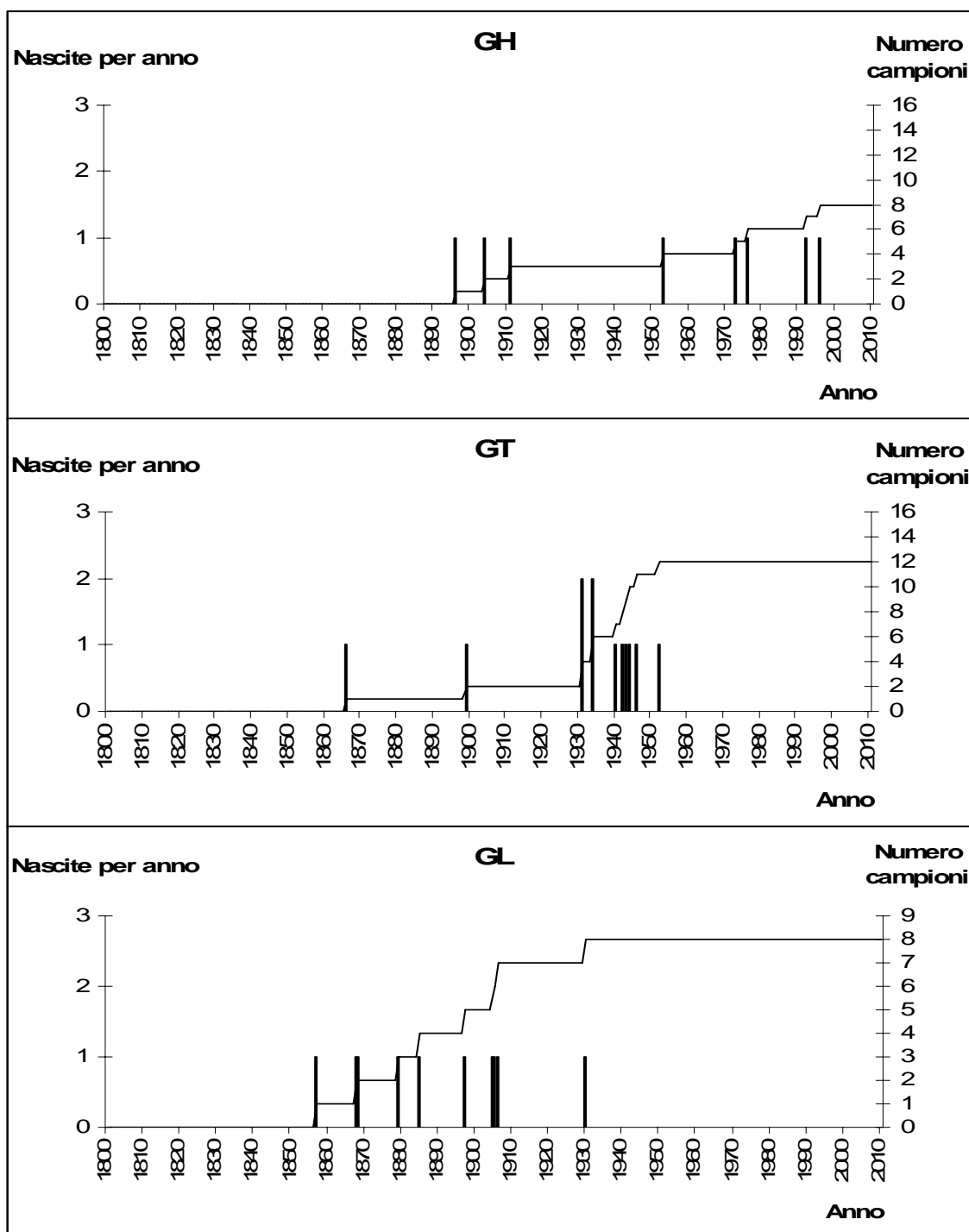


Figura 8.2. M. Giovo: età degli alberi. H= plot oltre il limite degli alberi; T= plot al limite degli alberi; L= plot sotto il limite degli alberi.

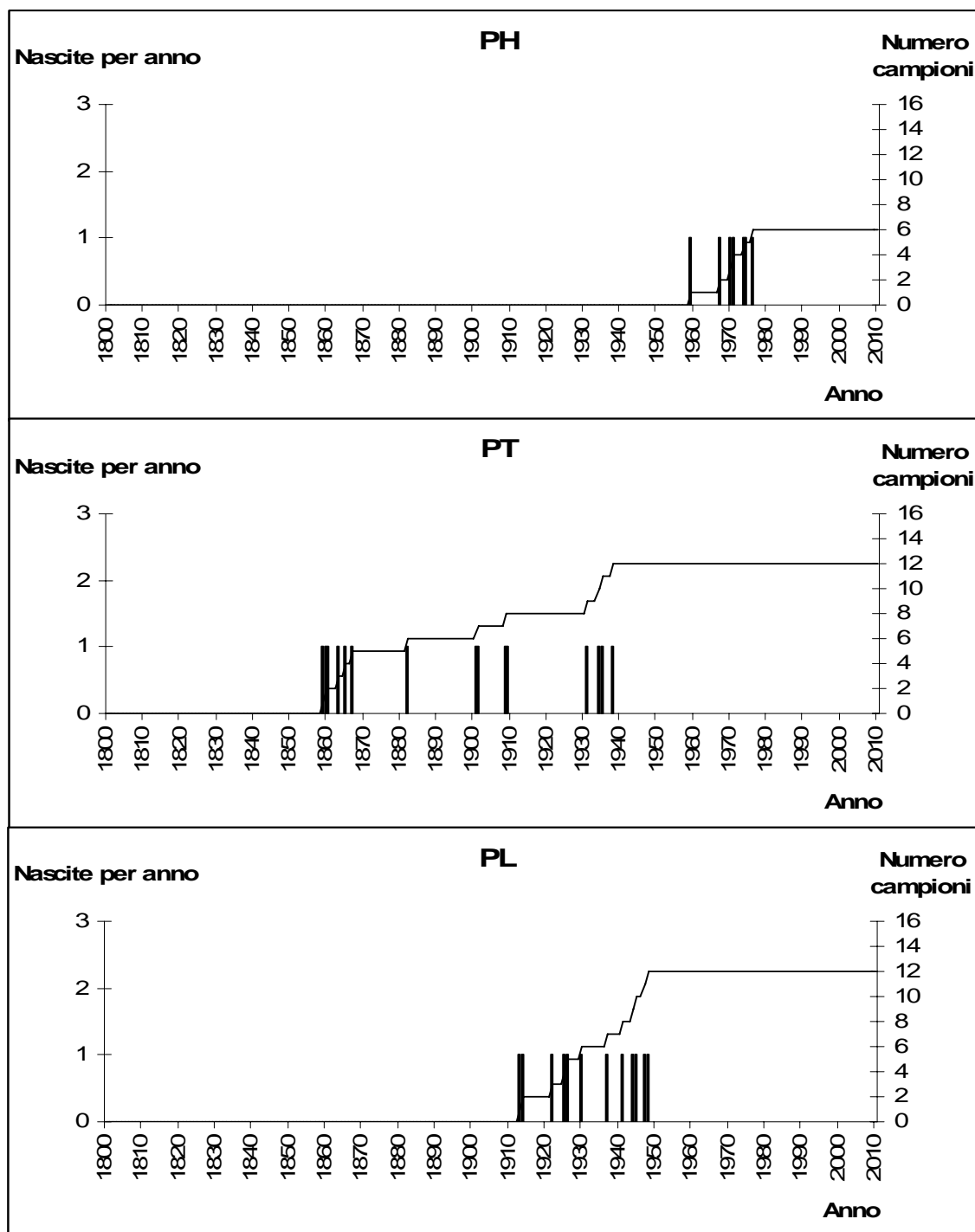


Figura 8.3. M. Prado: età degli alberi. H= plot oltre il limite degli alberi; T= plot al limite degli alberi; L= plot sotto il limite degli alberi.

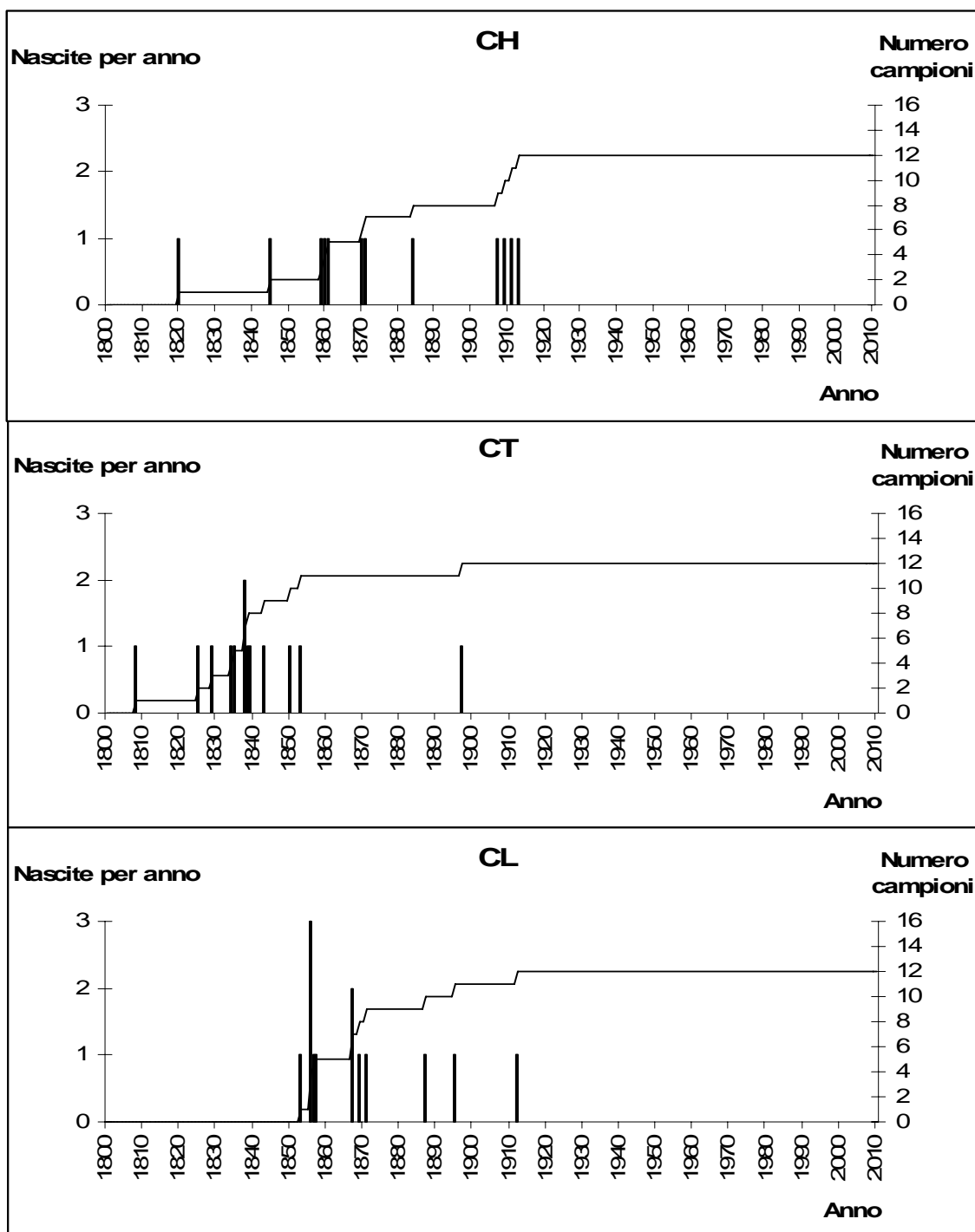


Figura 8.4. M. Cusna: età degli alberi. H= plot oltre il limite degli alberi; T= plot al limite degli alberi; L= plot sotto il limite degli alberi.

8.2 Età delle plantule

I campioni di plantule sono stati raccolti unicamente nel corso della prima spedizione in campo (anno 2004). Il numero dei campioni non è sufficientemente elevato per poter trarre conclusioni statisticamente attendibili. Si riportano quindi alcune osservazioni che emergono dai risultati delle datazioni, per le quali occorreranno conferme da futuri approfondimenti.

Le Tabb. 8.1 e 8.2 mostrano, tranne che in soli 4 casi, un differenza di un anno o due di età fra il colletto e i seguenti 10 cm. Questa differenza rimane sostanzialmente invariata anche per le lunghezze successive. Se si analizzano comunque tutti i periodi, aumenta la frequenza di ritrovamento di periodi più lunghi, fino a quattro anni, fra una parte del campione e i 10 cm successivi (come nel Campione 14, M. Rondinaio).

Una ulteriore, importante, considerazione va fatta ponendo l'attenzione sull'anno di nascita delle plantule. Nell'area del Monte Rondinaio il periodo con più nascite si registra fra il 1999 e il 2001, mentre sul Monte Prado sono gli anni dal 1995 al 1997 quelli che vedono una maggior rigenerazione.

Tabella 8.1. Età delle plantule, campionate sul M. Rondinaio, misurata al colletto e ogni 10 cm di altezza.

M. Rondinaio						
Plantula	Colletto	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm
1	2001	2002				
2	2000	2002	2003			
3	1998	1999				
4	2000	2001				
5	2001	2002				
6	1998	2001				
7	1999	2000	2002			
8	2000	2001				
9	2001	2002				
10	1998	1999	2001			
11	1999	2001				
12	1999	2000	2001	2002		
13	2000	2001	2002			
14	1993	1994	1998	2000	2001	2002
15	1999	2000	2001	2002		
17	1992	1993	1996	1999		
19	1999	2000	2002			
20	2000	2001				
15	1997	1998	1999			
16	2001	2002				

Tabella 8.2. Età delle plantule, campionate sul M. Prado, misurata al colletto e ogni 10 cm di altezza.

Area M. Prado						
Plantula	Colletto	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm
2	1993	1995	1996	1998	2001	2003
3	1991	1994	1995			
4	1995	1996	1998	2001		
5	1997	1998	2002			
6	1998	1999				
7	1997	1998	2000			
8	1991	1995	1997	1999	2002	
9	1995	1996	1997			
11	1997	2000	2002	2003		
12	2000	2002				
13	1996	1997	2000	2001		
14	2001	2002	2003			

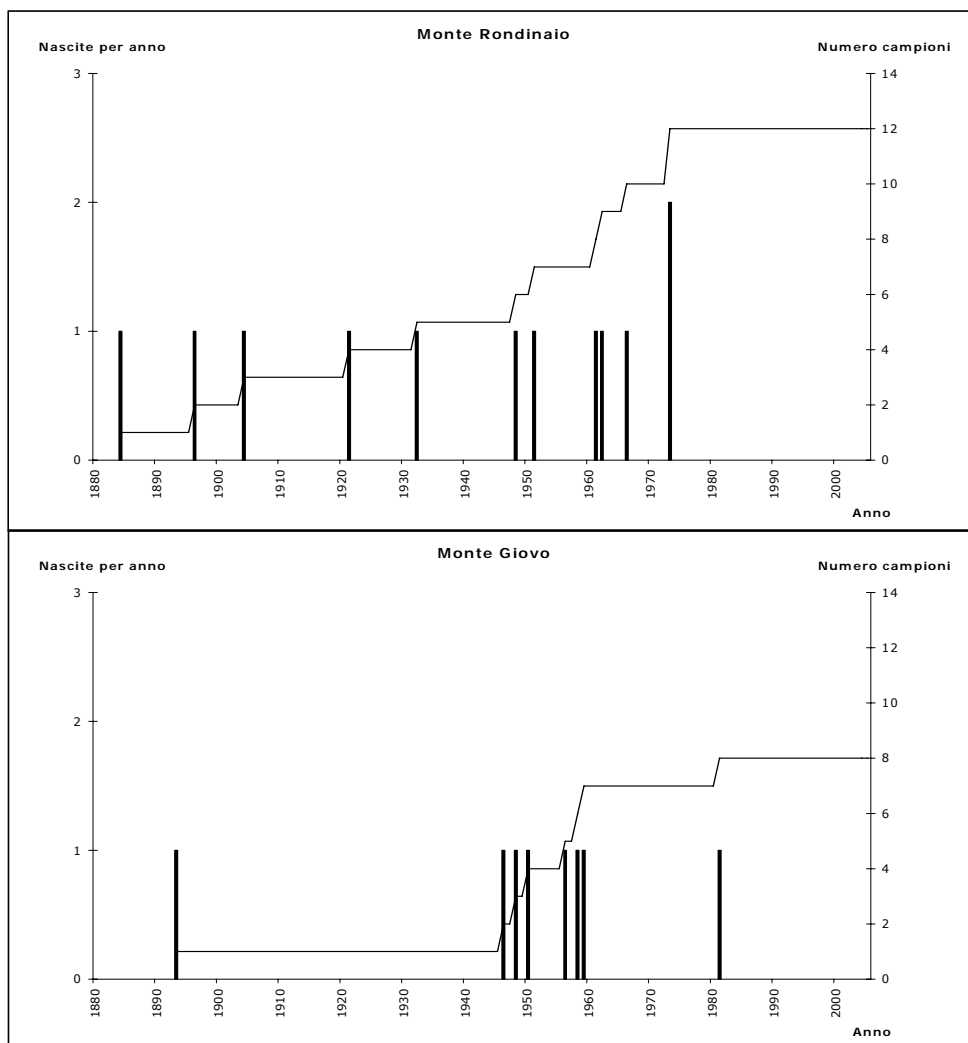


Figura 8.5. Età dei ginepri nell' area M. Giovo – M. Rondinaio.

8.3 Età dei ginepri

Il campionamento del ginepro nano si è rivelato estremamente difficile. Data la complessità della struttura dei tronchi è difficile infatti raggiungere il punto di origine del tronco stesso. Per questo motivo i risultati di seguito esposti in Fig. 8.5 e Fig. 8.6 forniscono informazioni approssimate e valide pienamente soltanto come testimonianza della passata presenza di questa specie nelle aree considerate.

Sul Monte Rondinaio le nascite sono distribuite su tutto il periodo considerato, dalla fine del XIX secolo fino a metà degli anni '70. Nell'area del Monte Giovo invece le nascite sono concentrate agli inizi della seconda metà del XX secolo.

Estremamente diversa si presenta la situazione nelle due aree rimanenti. Sia sul Monte Prado che sul Monte Cusna, ed in quest'ultimo in modo ancora più evidente, i risultati sono concentrati nella seconda metà del 1900.

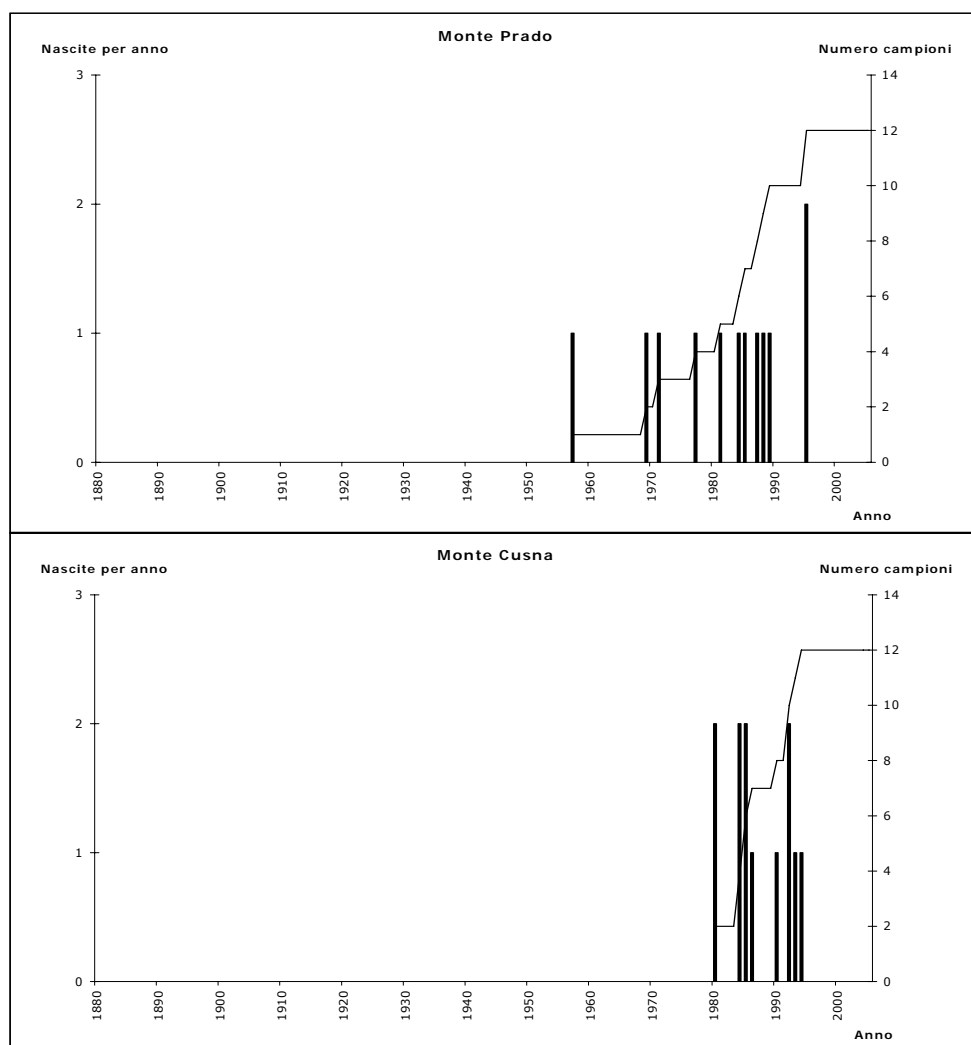


Figura 8.6. Età dei ginepri nell'area M. Prado – M. Cusna.

8.4 Cronologie

Le serie di seguito riportate sono state ricavate dalle cronologie di sintesi relative ad ogni plot. Le cronologie elementari che sono state utilizzate per calcolare la serie master non sono quindi tutte quelle disponibili per ogni plot, ma sono quelle che si sono dimostrate statisticamente valide in correlazione con la cronologia di riferimento. In questo modo sono state scartate serie elementari che presentavano valori anomali non riscontrati in altri alberi dello stesso plot, così da evitare l'inclusione di segnali singoli all'interno di una cronologia media, segnale che potrebbe disturbare il segnale comune ricercato nelle aree di studio.

Le cronologie considerate riguardano il periodo comune all'interno del plot, ovvero un periodo coperto dalla maggior parte dei campioni dell'area di saggio. In questo modo si evitano code che allungano sì la cronologia ma che non sono rappresentative se non di una singolo campione e quindi non sono statisticamente attendibili nel segnale che portano.

Tutte le cronologie mostrano un comportamento prevalentemente sensitivo, con un ampio range di valori di ampiezza anulare e repentini e frequenti cambiamenti dei valori stessi. Tale caratteristica traspare anche dal calcolo dei valori di sensitività, riportati nel capitolo 7, che permettono di inserire il faggio fra le specie mediamente sensitive.

Le tre cronologie rappresentative dei tre plot sul Monte Rondinaio (Fig. 8.7) sono piuttosto brevi, ma presentano punti di accordo su tutti e tre i plot. Nello specifico, sono evidenti risposte comuni negli anni 1977 e 1988 (picchi negativi) e negli anni 1951 (escluso il plot oltre il limite) 1997, 2001 e 2003 (picchi positivi). Per il plot più basso in quota (RL) le ampiezze anulari misurate sono più ampie, rispetto a quelle relative ai due plot più alti, e si presentano infatti con una media nell'intorno di 1.5 mm contro gli 0.7-0.8 mm degli altri due plot.

Le cronologie relative al Monte Giovo (Fig. 8.8) mostrano, così come quelle del Monte Rondinaio, variazioni interne piuttosto elevate, ma stabilità sul lungo periodo, ovvero non ci sono particolari tendenze all'aumento o alla diminuzione dell'ampiezza anulare media, nel tempo. Anche in questo transetto sono state registrate risposte comuni negli anni 1977 e 1988 con crescite decisamente ridotte rispetto alla media. Sempre in linea con quanto rilevato per il Monte Rondinaio, gli anni 1997 e 2001 presentano un incremento dell'ampiezza anulare se confrontati con i valori nell'intorno. Sul Monte Giovo è il plot al limite del bosco (GT) quello che si presenta con ampiezza anulare maggiore (1.2 mm di media circa) rispetto ai due plot rimanenti.

Il Monte Prado (Fig. 8.9) presenta una situazione diversa rispetto alle due precedentemente analizzate. Le cronologie mostrano un maggior numero di picchi sia

positivi che negativi e quindi un andamento molto meno stabile dei precedenti. Inoltre, per quanto le tre serie siano tutte piuttosto brevi, è evidente una generale tendenza all'aumento dell'ampiezza anulare nel tempo. Se si considerano le medie parziali delle ampiezze anulari calcolate sulla prima metà e poi sulla seconda metà di ogni cronologia si nota un forte incremento del valore che passa da 1.00 a 1.70 μm per il plot più alto in quota (PH), da 1.12 a 1.48 μm per il plot PT e da 1.57 a 1.79 μm per il plot più basso (PL). Oltre ai picchi positivi registrati anche nei casi precedenti (1999, 2001) anche il 1969 si presenta come un anno caratterizzato da una forte crescita. Numerosi sono anche gli anni con deciso decremento dell'ampiezza anulare. Fra questi i più evidenti sono: 1963, 1971, 1976/77 e 1981.

Le tre serie relative al Monte Cusna (Fig. 8.9) presentano, il linea con il caso precedente, una ampia quantità di picchi sia positivi che negativi. Inoltre tutte e tre le cronologie presentano il medesimo andamento nel tempo. Fino agli anni '30 circa l'ampiezza anulare rimane più o meno stabile su tutti e tre i plot e subisce poi un incremento positivo improvviso che lascia tracce fino alle metà degli anni '50. Dopo questo periodo, l'ampiezza anulare si stabilizza nuovamente sulle medie del primo '900. A partire dalla seconda metà degli anni '90 si registra invece un calo delle crescite che continua fino all'anno del campionamento (2005). I picchi positivi più evidenti interessano gli anni 1934, 1940 e 1988; quelli negativi si registrano per gli anni 1946, 1963, 1973 e 1977.

L'ampiezza anulare misurata in corrispondenza del plot più basso in quota (CL) è leggermente più alta rispetto ai due plot CT e CH.

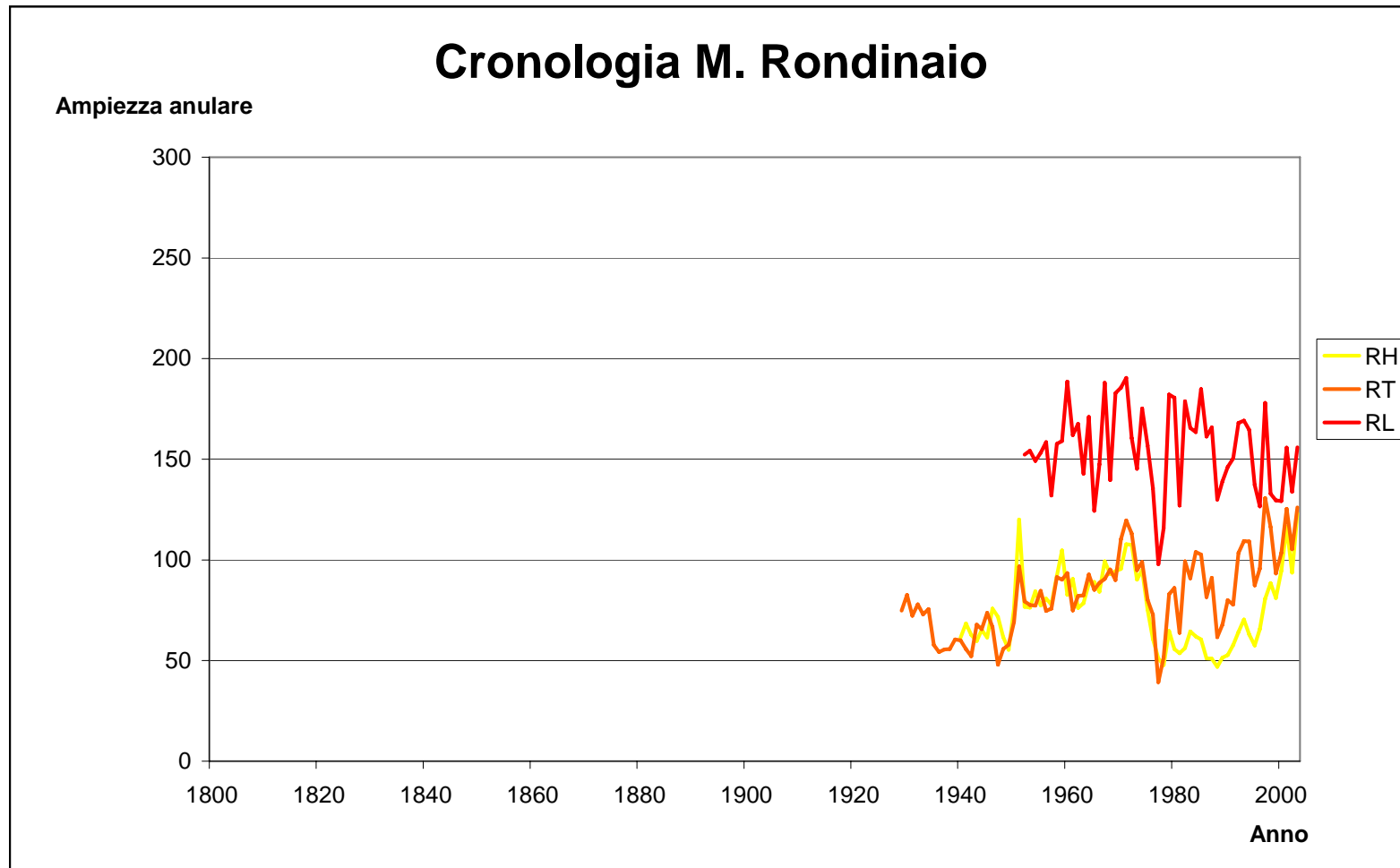


Figura 8.7. M. Rondinaio: cronologie relative ai 3 plot del transetto. H= plot oltre il limite degli alberi; T= plot al limite degli alberi; L= plot sotto il limite degli alberi.

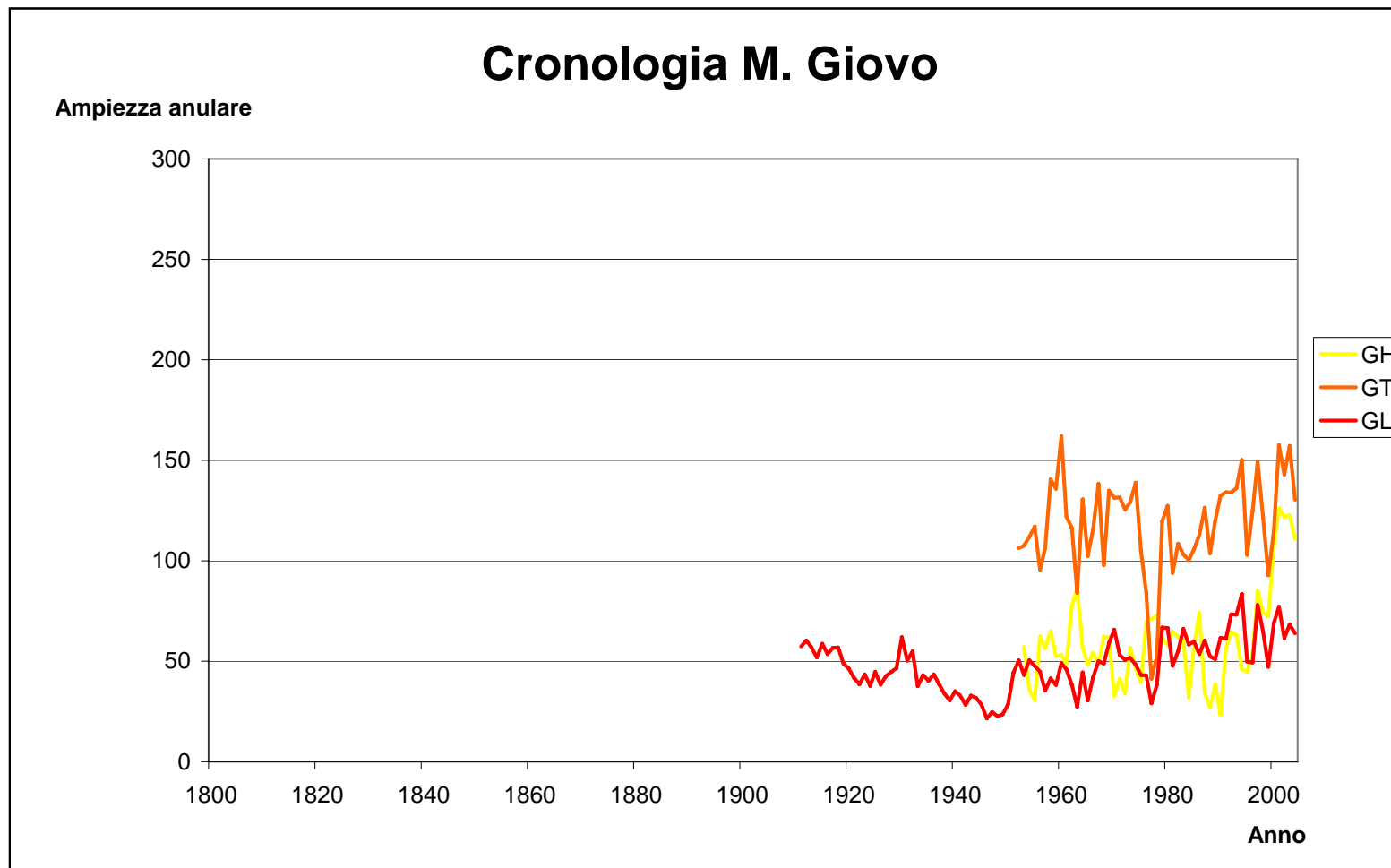


Figura
cronologie relative ai 3 plot del transetto. H= plot oltre il limite degli alberi; T= plot al limite degli alberi; L= plot sotto il limite degli alberi.

8.8. M. Giovo:

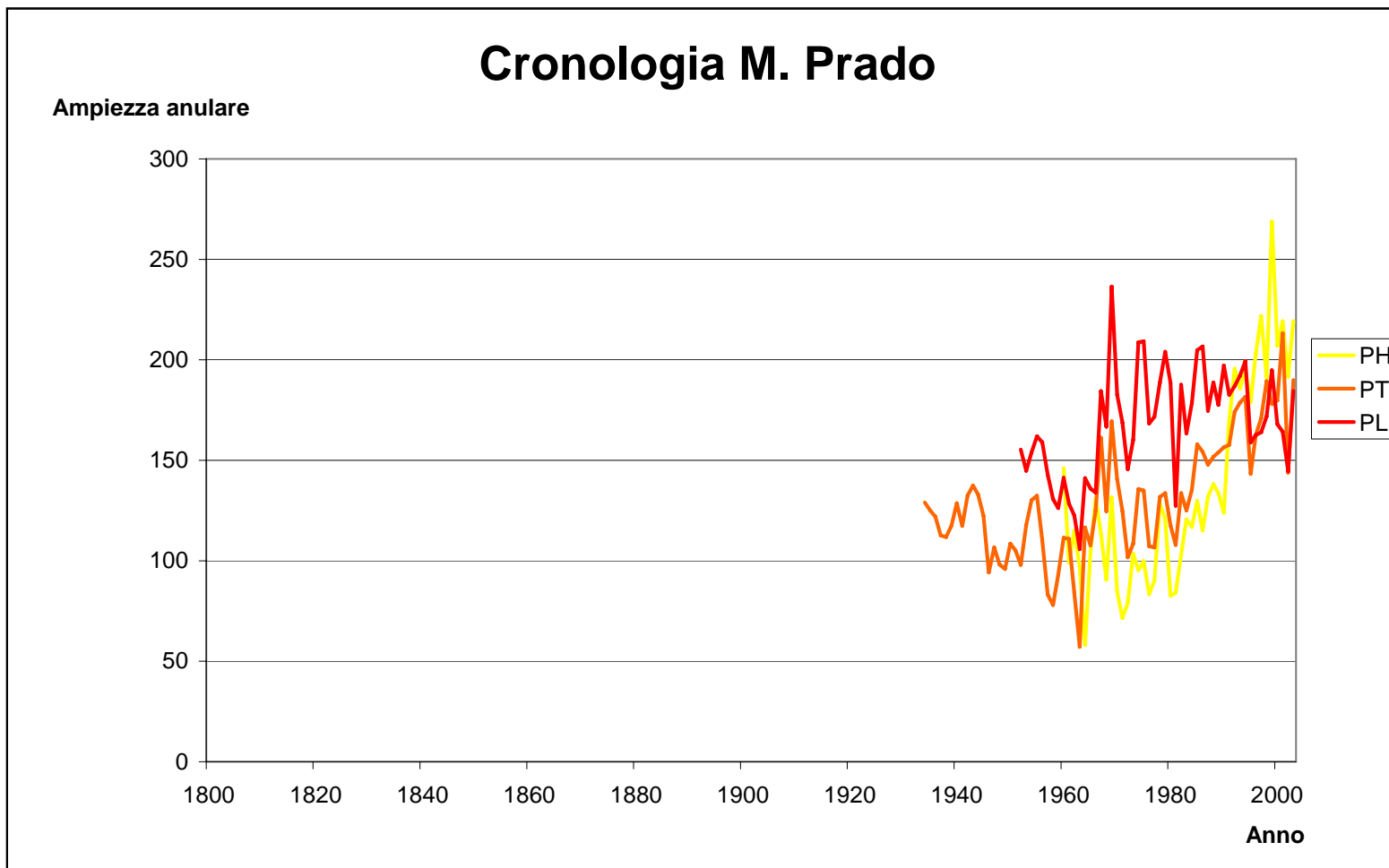


Figura 8.9. M. Prado: cronologie relative ai 3 plot del transetto. H= plot oltre il limite degli alberi; T= plot al limite degli alberi; L= plot sotto il limite degli alberi.

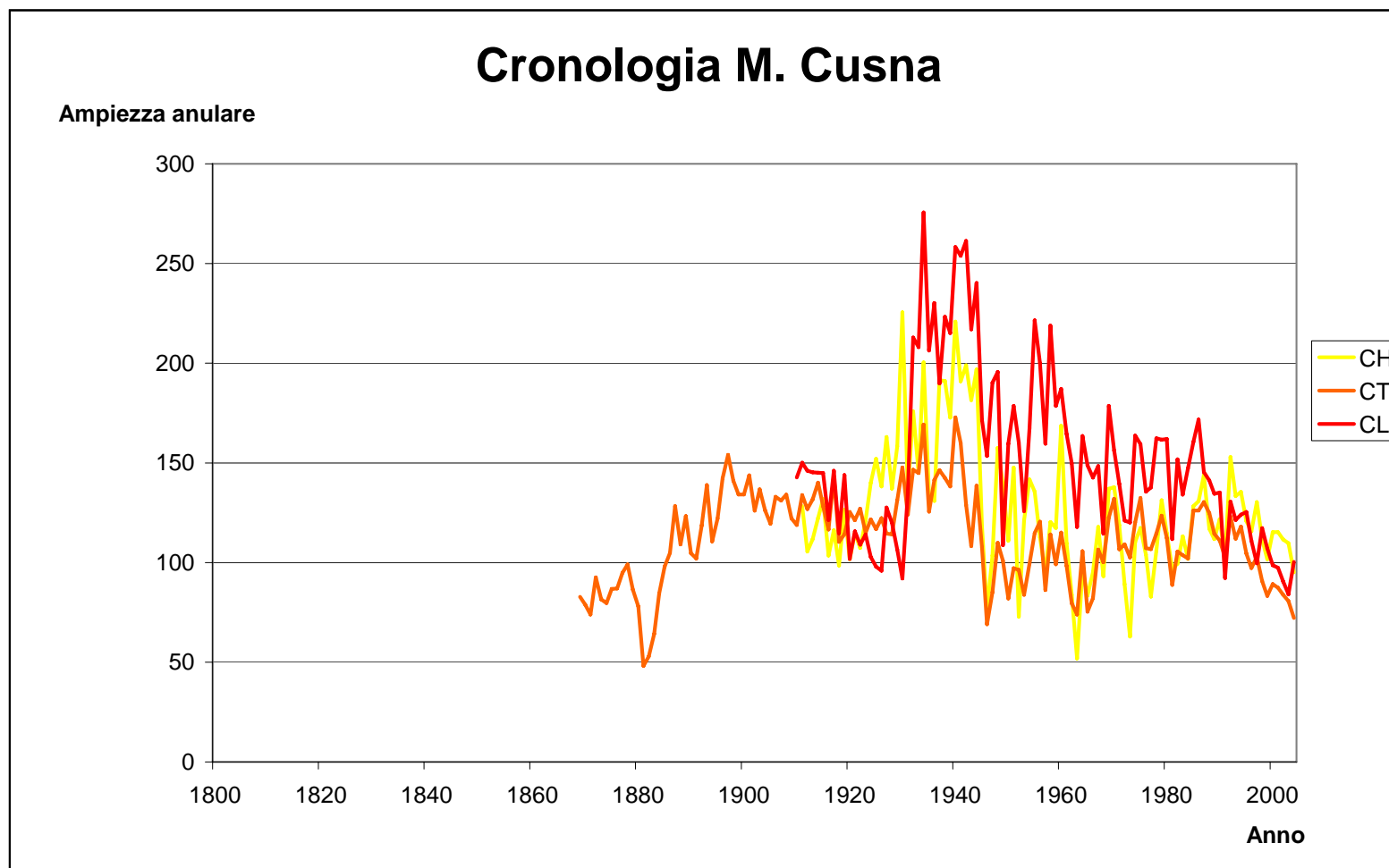


Figura 8.10 M. Cusna: cronologie relative ai 3 plot del transetto. H= plot oltre il limite degli alberi; T= plot al limite degli alberi; L= plot sotto il limite degli alberi.

8.5 Analisi dei *pointer years*

L'analisi dei *pointer years* riportati in tabella permette di individuare in maniera più chiara e diretta il grado di sincronia fra le cronologie di uno stesso transetto, della stessa area di saggio e infine della parte di Appennino oggetto di studio. Lo stesso fenomeno osservato su più aree di studio rafforza l'ipotesi che una variazione nell'ampiezza anulare possa essere manifestazione di cambiamento su ampia scala. Diventa quindi interessante andare a ricercare le cause anche all'interno di una possibile variazione dei parametri atmosferici, sia sul lungo che sul breve periodo. Allo stesso modo, quando si rilevano particolari andamenti su scala minore (per esempio all'interno di un transetto) si possono andare a valutare le condizioni microclimatiche o microtopografiche dell'area in oggetto.

I risultati riportati in Tabella 8.3 richiamano, sotto certi aspetti, quelli già ricavati dall'osservazione delle cronologie di sintesi (Fig. 8.7-8.10). Emerge anche qui, infatti, il periodo di aumento proporzionale di crescita che caratterizza gli anni '30 e '40 sul Monte Cusna.

Sul Monte Rondinaio l'unica variazione evidente a livello di tutti e tre i plot, ma non a scala globale, interessa il 1971 e si concretizza in un aumento dell'ampiezza annuale. L'anno singolo si inserisce comunque all'interno di un breve periodo di crescita positiva, breve periodo che si ripropone anche negli anni dal '92 al '94 e dal 2001 al 2003. Negli anni dal '47 al '49 si registra invece una tendenza inversa, con un decremento delle crescite a livello di 2 plot almeno.

Il periodo positivo degli anni dal 2001 al 2003 si ritrova anche sul transetto del Monte Giovo. Il plot oltre il limite del bosco (GH) si presenta con un comportamento piuttosto anomalo: in diversi casi infatti mostra una tendenza diametralmente opposta rispetto agli altri 2 plot e dove questi ultimi due si presentano con un'augmentata ampiezza anulare, il plot al limite mostra un decremento della crescita, o viceversa. Nello specifico, questo particolare andamento si verifica negli anni 1963, 1977, 1978, 1981 e 1994.

Comportamento analogo si riscontra anche sul Monte Prado negli anni 1959 e 1963. Sempre in relazione allo stesso transetto si ricordano gli anni 1969 e 1985 che presentano un anno caratteristico positivo.

Sul Monte Cusna l'unico anno che vede un *pointer years* (negativo) a livello di tutti e tre i transetti è il 1963.

Tabella 8.3. Pointer years. Il segno + indica la presenza di un anno caratteristico con incremento dell'ampiezza anulare, il segno meno indica un pointer years negativo. In verde scuro sono indicati periodi caratterizzati da un aumento della crescita mentre in verde oliva sono rappresentati periodi nei quali è stato registrato un decremento della ampiezza anulare.

Year	RH	RT	RL	GH	GT	GL	PH	PT	PL	CH	CT	CL
1925	-	-								+		-
1926		-				-			-			-
1927	-									+		
1928												
1929							+					-
1930	+		+						+			-
1931				-								
1932				-					+			
1933												
1934									+	+		
1935					-							
1936	-						+					
1937												
1938	-											
1939	-											
1940												
1941												
1942	-						+					
1943			-				+					
1944										+		
1945									-			
1946		-		-				-	-	-		
1947	-	-	+					-		-	+	
1948	-	-							+		+	
1949	-	-	+					-			-	
1950				+						-		
1951	+		+	+					+		+	
1952							-		-			
1953												
1954			-								+	
1955			-								+	
1956										+		
1957		-			-		-	-	-			
1958							-	-		+	+	
1959	+					+	-	-			+	
1960				+		+			+		+	
1961								-	-			
1962							+	-	-	-		
1963		-	+	-	-		-	-	-	-	-	
1964						-						

Year	RH	RT	RL	GH	GT	GL	PH	PT	PL	CH	CT	CL
1965			-			-		+	-	-	-	
1966							+					-
1967	+				+			+				
1968							-			-		
1969					+		+	+	+			+
1970		+	+			+	-				+	
1971	+	+	+				-					
1972	+	+		-			-	-		-		
1973										-		
1974	+						-		+		+	
1975									+	+		
1976				+	-	-	-	-				
1977	-	-	-	+	-	-	-	-		-		
1978	-	-	-	+	-	-	+				+	
1979			+			+			+		+	
1980	-		+	+		+	-					
1981	-			+	-	-	-	-				-
1982	-		+						+			
1983			+			+	+					
1984	-			-								
1985			+				+	+	+			
1986				+				+	+			+
1987			+									
1988												
1989												
1990									+			
1991												-
1992		+	+			+				+	+	
1993		+				+						
1994		+		-	+	+			+		+	
1995				-	-	-						
1996												-
1997		+			+	+						-
1998		+	-									
1999			-		-	-	+		+			
2000						+						
2001	+	+			+	+		+				
2002	+				+						-	
2003	+	+			+		+	+			-	
2004											-	

8.6 Correlazioni con il clima

Serie cronologiche e precipitazioni

I risultati delle correlazioni fra le serie cronologiche e le precipitazioni (Tabella 8.4, Tabella 8.5) non offrono grandi possibilità di interpretazione. L'unico caso di correlazione significativa infatti riguarda il transetto del Monte Giovo e la somma delle precipitazioni durante i mesi invernali. Altre risposte significative sono sporadiche e limitate al massimo ad un plot di un transetto.

Tabella 8.4. Correlazioni fra le cronologie medie dell'area M. Giovo-M. Rondinaio e le precipitazioni registrate al M. Cimone. Somma estiva= somma prec. da giugno a settembre. Somma invernale= somma prec. da di dicembre a febbraio. Evidenziati i valori significativi ($P \leq 0.05$).

Plot	Lag	Somma annua	Somma estiva	Somma invernale
RH	0	0.23	0.17	0.29
	1	0.31	0.29	0.29
RT	0	0.00	-0.06	0.04
	1	-0.11	-0.02	-0.09
RL	0	0.07	-0.23	0.15
	1	0.10	-0.08	0.21
GH	0	-0.40	0.03	-0.46
	1	-0.26	0.14	-0.41
GT	0	0.03	-0.11	0.00
	1	0.09	0.07	0.01
GL	0	-0.28	-0.23	-0.37
	1	-0.28	-0.12	-0.37

Tabella 8.5. Correlazioni fra le cronologie medie dell'area M. Prado-M. Cusna e le precipitazioni registrate a Ligonchio. Somma estiva= somma prec. da giugno a settembre. Somma invernale= somma prec. da di dicembre a febbraio. Evidenziati i valori significativi ($P \leq 0.05$).

Plot	Lag	Somma annua	Somma estiva	Somma invernale
PH	0	0.02	-0.06	-0.15
	1	-0.01	0.08	-0.26
PT	0	0.01	0.03	-0.06
	1	0.08	0.23	-0.08
PL	0	0.08	0.12	0.19
	1	0.20	0.35	0.19
CH	0	0.01	0.07	-0.05
	1	0.00	0.03	-0.09
CT	0	0.03	0.16	0.00
	1	0.00	0.03	-0.09
CL	0	0.01	0.04	0.14
	1	0.01	0.01	0.05

Serie cronologiche e temperature

I risultati ricavati per le correlazioni fra le temperature e le cronologie di sintesi si mostrano un po' più incoraggianti. Valori significativi si riscontrano su tutta l'area del Monte Giovo-Monte Rondinaio (Tabella 8.6) e per il transetto del Monte Prado (Tabella 8.7). Nel primo caso i valori più alti occorrono per le temperature medie della stazione di Bologna e del Monte Cimone. Sul Monte Prado invece i risultati migliori sono stati registrati per le correlazioni con i dati della stazione di Bologna.

Tabella 8.6. Correlazioni fra le cronologie medie dell'area M. Giovo-M. Rondinaio e le temperature di M. Cimone (C) e di Bologna (B). Media estiva= media delle temperature medie mensili dei mesi di giugno, luglio, agosto, settembre. Media invernale= media della temperatura media dei mesi di dicembre, gennaio e febbraio. Evidenziati i valori significativi ($P \leq 0.05$).

Plot	Lag	Media annua C	Media invernale C	Media estiva C	Media annua B	Media invernale B	Media estiva B
RH	0	0.28	-0.20	0.42	0.25	0.20	0.15
	1	0.22	-0.10	0.24	0.27	0.08	0.13
RT	0	0.47	-0.06	0.54	0.37	0.33	0.18
	1	0.30	-0.14	0.37	0.29	0.20	0.07
RL	0	0.16	-0.21	0.35	-0.05	-0.22	0.13
	1	-0.20	-0.45	0.08	-0.15	-0.26	-0.10
GH	0	0.51	0.18	0.42	0.35	0.24	0.16
	1	0.38	0.32	0.20	0.31	0.31	0.09
GT	0	0.44	0.02	0.54	0.30	0.24	0.23
	1	0.20	-0.07	0.21	0.25	0.13	0.09
GL	0	0.56	0.19	0.50	0.39	0.35	0.22
	1	0.25	0.05	0.21	0.30	0.23	0.09

Tabella 8.7. Correlazioni fra le cronologie medie dell'area M. Prado-M. Cusna e le temperature di Ligonchio (L) e di Bologna (B). Media estiva= media delle temperature medie mensili dei mesi di giugno, luglio, agosto, settembre. Media invernale= media della temperatura media dei mesi di dicembre, gennaio e febbraio. Evidenziati i valori significativi ($P \leq 0.05$).

Anno	Lag	Media annua L	Media invernale L	Media estiva L	Media annua B	Media invernale B	Media estiva B
PH	0	0.39	0.26	0.41	0.76	0.69	0.47
	1	0.29	0.31	0.27	0.73	0.62	0.55
PT	0	0.11	0.06	0.14	0.57	0.42	0.38
	1	-0.05	-0.07	-0.14	0.48	0.26	0.28
PL	0	-0.20	0.00	-0.16	0.15	0.05	0.27
	1	-0.22	-0.11	-0.30	0.11	-0.04	0.16
CH	0	0.09	0.12	-0.08	0.02	0.12	-0.18
	1	-0.15	-0.08	-0.13	-0.01	0.19	-0.25
CT	0	-0.31	0.08	-0.43	-0.10	-0.14	0.00
	1	-0.40	-0.12	-0.42	-0.11	-0.13	0.04
CL	0	0.01	-0.01	-0.01	0.11	0.11	-0.03
	1	0.00	-0.12	0.02	0.11	0.16	-0.04

In entrambi i casi, si hanno valori significativi sia per una correlazione diretta e sincrona, sia considerando un anno di *lag* fra le due serie di valori. Inoltre, i risultati riportati per il Monte Prado mostrano un trend altitudinale con valori che decrescono al diminuire della quota. Le correlazioni calcolate per il Monte Cusna non mostrano invece risultati significativi, se non sporadici e quindi di difficile interpretazione.

Le caratteristiche appena esposte si ritrovano anche per le correlazioni con le temperature minime. Valori significativi compaiono soprattutto per le prime tre aree, questa volta però con maggior forza nel caso di asincronia, ovvero nel caso in cui si valuta una possibile influenza del parametro climatico di un anno sull'accrescimento dell'anno seguente.

Tabella 8.8. Correlazioni fra le cronologie medie dei 12 plot e le temperature minime della stazione di M. Cimone. Media assoluta= media delle temperature minime assolute mensili dei mesi di aprile, maggio e giugno. Media relativa= media dei valori di temperatura minimi giornalieri, sul periodo aprile-giugno. Evidenziati i valori significativi ($P \leq 0.05$).

Plot	Lag	Media assoluta	Media relativa
RH	0	0.25	0.44
	1	0.37	0.47
RT	0	0.30	0.39
	1	0.43	0.45
RL	0	-0.20	-0.12
	1	0.09	0.05
GH	0	0.39	0.55
	1	0.40	0.45
GT	0	0.16	0.24
	1	0.52	0.39
GL	0	0.15	0.14
	1	0.36	0.25
PH	0	0.52	0.53
	1	0.52	0.52
PT	0	0.44	0.46
	1	0.54	0.48
PL	0	-0.14	-0.17
	1	-0.12	-0.10
CH	0	-0.02	0.04
	1	0.06	-0.01
CT	0	-0.44	-0.50
	1	-0.36	-0.41
CL	0	-0.20	-0.11
	1	-0.14	-0.16

8.7 Funzioni di risposta

Si riportano di seguito (Tab 8.9) i risultati forniti dal software Precon per il calcolo delle funzioni di risposta. Anche in questo caso le relazioni fra il clima e l'accrescimento anulare sono state ricercate sia per anni sincroni sia valutando uno scarto di 1 anno fra le due variabili. In questo secondo caso troviamo anche indicazioni sulla *prior growth* ovvero sull'influenza che la crescita dell'anno precedente ha avuto sull'anno in corso. In tutti i casi tranne uno (plot RL) i valori di questo parametro sono significativi. Questo risultato era comunque preannunciato dagli alti valori di autocorrelazione già calcolati in precedenza. L'influenza attribuibile alle variabili climatiche si è dimostrata significativa solo in pochi casi (quelli per cui si riporta il mese). Tuttavia si nota come tale valore diminuisca secondo un trend altitudinale. I plot oltre il limite del bosco infatti registrano un valore di correlazione maggiore rispetto a quelli sottostanti.

Tabella 8.9. Funzioni di risposta. CL= variabilità attribuibile al clima; PG= variabilità attribuibile alla crescita negli anni precedenti (*prior growth*); PPT= mesi in cui i valori di precipitazione si sono mostrati in correlazione significativa con le cronologie ($P \leq 0.05$); TEMP= mesi in cui i valori di temperatura si sono mostrati in correlazione significativa con le cronologie ($P \leq 0.05$); SIGN. PG= esprime la possibile significatività della *prior growth*.

Plot	Lag	CL	PG	PPT	TEMP	SIGN. PG
RH	0	0.52		OTT - GEN	-	
	1	0.21	0.54	-	-	SI
RT	0	0.50		DIC - GEN	-	
	1	0.17	0.52	GENNAIO	-	SI
RL	0	0.44		-	-	
	1	0.31	0.16	-	-	NO
GH	0	0.65			GIUGNO	
	1	0.25	0.52	OTT PREC.	MAGGIO	SI
GT	0	0.44		APRILE	AGOSTO	
	1	0.30	0.27	APRILE	APR - AGO	SI
GL	0	0.44		GEN - AGO	GEN - APR	
	1	0.18	0.49	AGOSTO	SETTEMBRE	SI
PH	0	0.68		-	GIU - AGO	
	1	0.40	0.44	FEBBRAIO	GEN - MAG - GIU - AGO	SI
PT	0	0.56		-	OTT - GEN - OTT	
	1	0.22	0.49	-	-	SI
PL	0	0.45		-	-	
	1	0.20	0.40	-	-	SI
CH	0	0.21		FEB - APR	-	
	1	0.15	0.32	FEBBRAIO	-	SI
CT	0	0.24		APRILE (-)		
	1	0.12	0.52		APRILE (-)	SI
CL	0	0.36		GENNAIO (-)	-	
	1	0.13	0.57	-	-	SI

Discussione e conclusioni

Le strutture dei dati che descrivono l'età degli alberi nelle quattro aree di studio si possono ricondurre sostanzialmente a 2 pattern principali.

Il primo interessa soltanto il Monte Prado e si presenta con una struttura d'età nettamente definita in relazione alla quota. Gli alberi oltre il limite del bosco sono più giovani rispetto a quelli sottostanti e fra gli individui a diametro maggiore (questo uno dei criteri per la scelta dei campioni) non sono stati riscontrati alberi con età superiore a 40-45 anni.

Nei transetti delle altre aree di studio non sono evidenti differenze sostanziali fra i vari plot, si riscontra anzi a volte una struttura di età "inversa" con gli alberi più giovani alle quote meno elevate. Questi risultati lasciano pensare, in primo luogo, ad una diffusa situazione di stabilità del bosco di faggio nel versante settentrionale. Eventuali aumenti nelle nascite, come nel plot al limite degli alberi nel Monte Giovo (GT) negli anni 1940-1950, interessano periodi antecedenti il diffuso incremento di temperatura registrato a partire dagli anni '50. Si può ragionevolmente pensare che le aree nelle quali sono presenti alberi più giovani nei plot meno elevati siano state interessate, in tempi passati, da abbattimenti di alberi da parte dell'uomo. Questi hanno quindi un ruolo chiave nel determinare la struttura dell'età in queste aree di saggio.

Il caso del Monte Prado si pone come eccezione alla stabilità che caratterizza il limite degli alberi nelle aree considerate in questo studio. L'età più giovane dei faggi più elevati in quota indica un recente avanzamento altitudinale del limite del bosco. La causa potrebbe ricondursi ad uno scenario così riassumibile: nell'area c'è stato un abbassamento di tale limite per distruzioni operate dall'uomo in tempi non recenti (come indicano le età degli alberi a quote immediatamente inferiori) e l'attuale recente innalzamento altitudinale è dovuto, al contemporaneo verificarsi della cessazione delle istruzioni e alle favorevoli condizioni climatiche degli ultimi decenni.

L'età dei ginepri, per i pochi campioni considerati in via preliminare, rispecchia le strutture di età sinora riportate, eccezione fatta per il Monte Cusna. Risultati e analisi attendibili richiedono comunque un maggior numero di campionamenti per questa specie.

I risultati più significativi, relativi alle cronologie di sintesi dei vari plot, si rivelano anche in questo caso quelli riferiti al Monte Prado. Sul Monte Rondinaio, sul Monte Giovo e sul Monte Cusna infatti le serie rimangono piuttosto stabili.

In tutte le serie cronologiche, di ogni area di studio, vi è una buona rispondenza a variazioni estreme di temperatura e di precipitazioni. C'è infatti una buona sincronia nel

rivelare eventi importanti, quali per esempio l'intensa siccità del 1977 o il grande caldo del 2003. In relazione allo studio delle variazioni annuali rimane però aperto il problema legato al tipo di reazione che gli alberi hanno nei confronti dei diversi fenomeni. Sia il 1977 che il 2003 sono anni interessati da una forte siccità. Il 2003 però è stato anche un anno estremamente caldo con un incremento della temperatura estiva di 3°C (Beninston, 2005). Jolly (2005) suggerisce che diversi eventi di siccità possono determinare effetti diversi sulla crescita, in relazione anche al periodo nel quale si verificano e allo stato fisiologico dell'albero. Una buona rispondenza del versante padano si è dimostrata anche nel 1963, anno estremamente freddo, caratterizzato da uno scarto termico dalla media di -1.2 °C. Infine rimane da considerare il 1951, anno nel quale è stato registrato un aumento generale dell'accrescimento (picco positivo) sulla maggioranza dei plot esaminati. Il 1951 è stato un anno molto nevoso. L'ipotesi suppone che la grande disponibilità di acqua che si è avuta durante la stagione vegetativa abbia reso possibile un accrescimento maggiore per quell'anno. Non è stato però possibile definire una linea generale in grado di spiegare anche eventuali reazioni future ai diversi fenomeni.

I risultati ottenuti grazie alle correlazioni e alle funzioni di risposta non aggiungono conoscenze rilevanti a quelle già riscontrabili in letteratura. I valori più significativi si riscontrano per le correlazioni con le temperature medie annue, in particolare sul Monte Prado. Non è possibile però definire rispondenze più precise, ovvero stabilire se esistano, ed eventualmente, quali siano, i pattern di temperatura in grado di influire in maniera significativa sulla crescita del faggio.

L'impossibilità di delineare tratti di comportamento generale nell'andamento dell'accrescimento anulare dipende in massima parte dalla difficoltà di valutazione di effetti sinergici delle numerose variabili che condizionano la salita degli alberi verso le alte quote. Come sottolineato da Holtmeier (2003) e da Aude (1998) per una completa analisi su scala locale è necessario tenere in considerazione anche gli effetti di altre variabili fra cui il suolo, la topografia, la durata degli interventi dell'uomo.

Dall'insieme delle indagini effettuate emerge comunque una generale stabilità altitudinale del limite del bosco nelle aree considerate, con la sola eccezione del Monte Prado. La forma stessa del limite, con alberi isolati molto vicini a quelli che formano il limite del bosco richiama le morfologie tipiche del margine "giovane" del bosco di faggio, con gli individui giovani che crescono a ridosso di quelli più adulti. Resta il fatto che è difficile spiegare con un solo fattore le cause di questa risalita recente: il riscaldamento del clima, l'aumento della concentrazione di CO₂ la cessazione di distruzioni ad opera dell'uomo (Innes, 1991; Spiecker et al. 1996; Cherubini et al. 1998, 1999). E' ragionevole ritenere che tutti i fattori ricordati interagiscano e che la prosecuzione degli studi renderà possibile una migliore comprensione dei processi in atto.

Infine, è importante tener presente che, durante l'Olocene, i grandi cambiamenti climatici indussero variazioni nella quota del limite degli alberi minori di 200 metri e che attualmente il limite del bosco è solo leggermente depresso (100 metri nelle zone temperate) rispetto al massimo post glaciale (Zukrigl, 1975; Bortenschlager, 1977, 1993; Wijmstra, 1978; Scuderi, 1987). Eventuali variazioni nelle quote dell'attuale limite saranno quindi di piccola entità e avranno luogo con un ritardo significativo rispetto alle variazioni climatiche. Questa ipotesi è confermata da un'analisi di immagini fotografiche, che ha visto la comparazione di ortofoto aeree degli anni 1950 con foto del 2000 (Pezzi et al. 2006). I risultati hanno messo in evidenza la stabilità del limite altitudinale del bosco in molte aree dell'Appennino settentrionale, comprese quelle considerate in questo studio, indicando invece deforestazioni a quote più basse. Da questi dati derivano significative conferme ai risultati da me ottenuti con un approccio dendrocronologico.

Bibliografia

- Arno, S.F. 1984. Timberline. The Mountaineers, Seattle.
- Aude, E. & Lawesson, J.E. 1998. Vegetation in Danish beech forests: the importance of soil, microclimate and management factors, evaluated by variation partitioning. *Plant Ecol.* 134: 53-65.
- Aulitzky, H. 1961. Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit Mitt Forstl Bundesversuchsanst. *Mariabrunn* 59: 105-125.
- Baes, C.F. and McLaughlin, S.B. 1984. Trace elements in tree rings: evidence of recent and historical air pollution. *Science* 224: 494-497.
- Baillie, M.G.L. and Munro, M.A.R. 1988. Irish tree rings, Santorini and volcanic dust veils. *Nature* 332: 344-346.
- Bauch, J. and Eckstein, D. 1981. Wood biological investigations on panels of Rembrandt paintings. *Wood Science and Technology* 15: 251-263.
- Beniston, M. 2005. Warm winter spells in the Swiss Alps: strong heat waves in a cold season? A study focusing on climate observations at the Saentis high mountain site. *Geophysical Res. Lett.* 32: L01812.
- Bernetti, G. 1995. Selvicoltura speciale. UTET, Torino.
- Bertolani Marchetti, D. 1963. Analisi polliniche in relazione a reperti paletnologici al Monte Cimone (Appennino Tosco-Emiliano). *Giorn. Bot. Ital.* 70 (5-6): 578-586.
- Bortenschlager, S. 1977. Ursachen und Ausmass postglazialer Waldgrenzschwankungen in den Ostalpen. In Frenzel B. (ed) Dendrochronologie und postglaziale Klimaschwankungen in Europa. Steiner, Wiesbaden, pp. 260-266.
- Bortenschlager, S. 1993. Das höchst gelegene Moor der Ostalpen "Moor am Rofenberg" 2760 m. (Dissertationes Botanicae) 196. Cramer, Berlin pp. 329-334.
- Briffa, K.R., Schweingruber, F.H., Jones, P.D., Osborn, T.J., Shiyatov, S.G. & Vaganov, E.A. 1998. Reduced sensitivity of recent tree-growth to temperature at high northern latitudes. *Nature* 391: 678-682.

- Cantiani, M. 1958. Osservazioni sugli effetti della siccità estiva nelle faggete dell'Irpinia. *L'Italia forestale e montana* XIII, 251 pp.
- Carton, A. 1992. L'orografia. In Ferrari, C., Panizza, M. (a cura di), Oltre il limite degli alberi: 37-47. Regione Emilia-Romagna, Bologna.
- Cherubini, P., Dobbertin, M., & Innes, J.L. 1998. Potential sampling bias in long-term forest growth trends reconstructed from tree rings: a case study from the Italian Alps. *For. Ecol. Manage.* 109: 103-118.
- Cherubini, P., Dobbertin, M., & Innes, J.L. 1999. Erratum to "Potential sampling bias in long-term forest growth trends reconstructed from tree rings: A case study from the Italian Alps" [Foreco 109 (1998) 103-118]. *For. Ecol. Manage.* 114: 165-167.
- Cook, E. & Briffa, K. 1990. Data analysis. In: Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences (Eds. E.R. Cook and L.A. Kairiukstis). Kluwer, Dordrecht, pp 97-162.
- Corona, E. 1966. Oscillazioni e discordanze nelle serie anulari. *Monti e Boschi* 2: 27-34.
- Corona, P. 1986. Metodologie dendrocronologiche. *Monti e Boschi*, 40(1): 6-8.
- Crawford, R.M.M. 1989. Studies in plant survival. Ecological case histories of plant adaptation to adversity. Blackwell, Oxford.
- Daubenmire, R. 1954. Alpine timberlines in the Americas and their interpretation. *Butler Univ. Bot. Stud.* 2: 119-136.
- Douglass, A.E. 1929. The secret of the Southwest solved by talkative tree rings. *National Geographic Magazine* 56(6): 736-770.
- Ferrar, P.J., Cochrane, P.M. & Slatyer, R.O. 1988. Factors influencing germination and establishment of *Eucalyptus pauciflora* near the alpine tree line. *Tree Physiol.* 4: 27-43.
- Ferrari, C. 1993. La vegetazione dell'Appennino Tosco-Emiliano oltre il limite degli alberi. Atti dei Convegni Lincei 115, Roma, pp 229-253. Ferrari C., Carpené D. & Poggi G. 2002. Alta Val Parma e Cedra. Carta della Vegetazione con itinerari naturalistici (1: 25 000). Regione Emilia Romagna, Bologna.

- Ferrari C. & Rossi G. 1995. Relationships between plant communities and late snow melting on Mount Prado (Northern Apennines, Italy). *Vegetatio* 120: 49-58.
- Ferrari, C. 1997. Le fasce di vegetazione dell'Emilia Romagna. In M. Tomaselli (a cura di), Guida alla Vegetazione dell'Emilia-Romagna: 25-41. Annali Facoltà Scienze Mat. Fis. Nat. Univ. Parma, Parma.
- Ferrari, C. & Piccoli, F. 1997. The ericaceous dwarf shrublands above the Northern Apennines Timberline (Italy). *Phytocoenologia* 27(1): 53-76.
- Ferrari C., Buffa G., Poggi G. & Zenti S. 2002b. Alto Appennino Reggiano. Carta della Vegetazione con itinerari naturalistici (1: 25 000). Regione Emilia Romagna, Bologna.
- Francavilla, F. 1988. Caratteri geomorfologici del crinale dell'Appennino settentrionale. Il paesaggio fisico dell'alto Appennino emiliano, Grafis Edizioni, Casalecchio di Reno (BO).
- Fritts, H. C. 1976. Tree rings and climate. Academic Press, London.
- Fritts H.C., Blasing T.J., Hayden B.P. & Kutzbach J.E. 1971. Multivariate techniques for specifying tree growth and climate relationships and for reconstructing anomalies in paleoclimates. *Jour. Appl. Meteor.* 10: 845-864.
- Gerdol, R. & Tomaselli, M. 1988. Phytosociology and ecology of stream vegetation in the summit region of the northern Apennines. *Boll. Mus. St. Nat. Lunigiana* 6-7 (1-2): 89-93.
- Gerdol, R. & Tomaselli, M. 1993. The vegetation of wetlands in the northern Apennine (Italy). *Phytocoenologia* 21: 421-470.
- Grace, J. 1977. Plant response to wind. Academic Press, London.
- Grace, J. 1990. Cuticular water loss unlikely to explain tree-line in Scotland. *Oecologia* 84: 64-68.
- Grace, J. 2002. Impacts of climate change on the tree line. *Annals of Botany* 90: 537-544.
- Grasso, V. 1956. Danni da siccità su faggio in Alto Molise. *L'Italia forestale e montana* IX, 205 pp.

- Grossoni, P. & Bussotti, F. 1999. *Fagus sylvatica* L.: aspetti dendrologici e tassonomici. In: Scarascia Mugnozza, G. (a cura di): *Ecologia strutturale e funzionale di fagete italiane*, Edagricole, Bologna, pp. 3-19.
- Hadley, J.L. & Smith, W.K. 1983. Influence of wind exposure on needle desiccation and mortality for timberline conifers in Wyoming, USA. *Arct. Alp. Res.* 15: 127-135.
- Hagemeyer, J. 1993. Monitoring trace metal pollution with tree rings: A critical reassessment. In B. Markert, ed., *Plants as Biomonitors. Indicators for Heavy Metals in the Terrestrial Environment*. VCN Weinheim, New York: 541-563.
- Hättenschwiler, S. & Körner, C. 1995. Responses to recent climate warming of *Pinus sylvestris* and *Pinus cembra* within their montane transition zone in the Swiss Alps. *J. Veg. Sci.* 6: 357-368.
- Hofmann, A. 1991. *Il faggio e le fagete in Italia*. Ministero Agricoltura e Foreste, Collana Verde, 81, Roma.
- Holtmeier, F.K. 1974. *Geoökologische Beobachtungen und Studien an der subarktischen und alpinen Waldgrenze in vergleichender Sicht*. Franz Steiner, Wiesbaden.
- Holtmeier, F.K. 2003. *Mountain timberlines. Ecology, patchiness and dynamics*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht.
- Holtmeier, F., Broll, G., Mütterthies, A. & Anschlag, K. 2003. Regeneration of trees in the treeline ecotone: northern Finnish Lapland. *Fennia* 181(2): 103-128.
- Holzhauser, H.P. 1984. *Zur Geschichte des Aletschgletschers und des Fieschergletschers*. Physische Geographie, 13, Universität Zurich.
- Holzhauser, H., and Zumbuehl, H.J. 1996. On the history of the Lower Grindelwald Glacier during the last 2800 years - palaeosols, fossil wood and historical pictorial records - new results. *Zeitschrift für Geomorphologie* 104: 95-127.
- Hughes M.K. & Milson S.J. 1982. Comment on the climate growth response. In: Hughes M.K. & al. *Climate from tree rings*, Cambridge University Press, pp 37-38.
- Innes, J.L. 1991. High-altitude and high-latitude tree growth in relation to past, present and future global changes. *Holocene* 1: 168-173.

- Jolly, W., Dobbertin, M., Zimmermann, N. & Reichstein, M. 2005. Divergent vegetation growth responses to the 2003 heat wave in the Swiss Alps. *Geophys. Res. Lett.* 32: L18409.
- Körner, C. 1998. A re-assessment of high elevation treeline positions and their explanation. *Oecologia* 115: 445-459.
- Kullman, L. 2001. 20th century warming and tree limit rise in the southern Scandes of Sweden. *Ambio* 30: 72-80.
- LaMarche Jr., V.C., and Fritts, H.C. 1971. Tree rings, glacial advance, and climate in the Alps. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 7(1-2): 125-131.
- Lausi, D. & Pignatti, S. 1973. Die Phänologie der europäischen Buchenwälder auf pflanzensoziologischer Grundlagen. *Phytocoenologia* 1(1): 1-63.
- Luckman, B.H. 1994. Glacier fluctuation and tree-ring records for the last millennium in the Canadian Rockies. *Quaternary Science Reviews* 12: 441-450.
- Mariani, P. 1971. Studio fisio-ecologico sul faggio (*Fagus sylvatica* L.) dell'Altipiano del Cansiglio (Prealpi Venete). Alcuni aspetti di differenziazione delle gemme durante un ciclo annuale, in relazione al livello nella chioma e all'esposizione di versante. *Archivio Bot. e It.* LXVII: 1-19.,
- Mercalli L., Cat-Berro, D. & Ratti, M. 2003. Caratterizzazione termica del versante padano dell'Appennino settentrionale per una correlazione tra clima locale e timberline. SMS-Società meteorologica subalpina, Torino. Relazione Tecnica.
- Munaut, A.V. 1979. La dendrochronologie et les problèmes de géographie historique. Ext. De La Geog. Hist. Actes du Colloque de Bruxelles, pp 401-485.
- Nola, P. 1995. Affidabilità dei dati climatici nello studio delle relazioni clima/accrescimento: un esempio per l'Appennino settentrionale. *Arch. Geobot.* 1(2): 111-125.
- Ohsawa, M. 1990. An interpretation of latitudinal patterns of forest limits in south and east asian mountains. *Journal of ecology* 78: 326-339.

- Pezzi, G., Bitelli, G., Ferrari, C., Girelli, V., Gusella, L., Masi, S. & Mognol, A. 2006. Pattern temporale del limite altitudinale dei boschi di faggio nell'Appennino settentrionale. Un'analisi di dati fotogrammetrici. *Forest@*. (in press).
- Piacente, S. 1992. Il clima. In Ferrari, C. & Panizza, M. (a cura di), *Oltre il limite degli alberi*: 21-35. Regione Emilia-Romagna, Bologna.
- Piccoli, F. 1992. Le praterie di altitudine. In Ferrari, C. & Panizza, M. (a cura di), *Oltre il limite degli alberi*: 214-215. Regione Emilia-Romagna, Bologna.
- Pignatti, S. 1979. I piani della vegetazione in Italia. *Giorn. Bot. Ital.* 113: 411-428.
- Rabinowitz, D. 1981. Seven forms of rarity. In H. Synge (ed.), *The Biological aspects of Rare Plant Conservation*: 205-217. John Wiley & Sons, Chichester.
- Rocheftort, R.M., Little, R.M., Woodward, A. & Peterson, D.L. 1994. Changes in sub-alpine tree distribution in western North America: a review of climatic and other casual factors. *Holocene* 4: 89-100.
- Rübel, E. 1938. *Die Buchenwälder Europas*. Hueber, Ismaning.
- Sakai, A. 1970. Freezing resistance in willows from different climates. *Ecology* 51: 485-491.
- Sakai, A. & Larcher, W. 1987. Frost survival of plants. Responses and adaptation to freezing stress. *Ecological studies*, 62. Springer, Berlin Heidelberg, New York.
- Schweingruber, F.H. 1988. *Tree rings: basics and applications of dendrochronology*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Holland.
- Schweingruber, F.H. 1990. Radiodensitometry. In: *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences* (Eds. E.R. Cook and L.A. Kairiukstis). Kluwer, Dordrecht, pp 55-63.
- Scuderi, L.A. 1987. Late Holocene upper timberline variation in the southern Sierra Nevada. *Nature* 325: 242-244.
- Skre, O. 1993. Growth of mountain birch (*Betula pubescens* Ehrh) in response to changing temperature. *Forest development in cold climate*. Plenum Press, New York, pp 65-78.

- Slatyer, R.O. 1976. Water deficits in timberline trees in the Snowy Mountains of south-eastern Australia. *Oecologia* 24: 357-366.
- Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M. and Skovsgaard, J.P. 1996. Growth trends in European forests. European Forest Institute, Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg.
- Stallings Jr., W.S. 1960. Dating prehistoric ruins by tree-rings. Laboratory of Anthropology, Santa Fe, New Mexico, General Series, Bulletin 8. 18 pp.
- Sutherland, E.K., and Martin, B. 1990. Growth response of *Pseudotsuga menziesii* to air pollution from copper smelting. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 1020-1030.
- Takahashi, K. 1944. Die Baum- und Hida-Gebirge (japanische Nordalpen). Ein Betrag zur Baum- und Wald-Grenze Ostasiens. *Jpn. J. Bot.* 13: 269-343.
- Tellini, C. 1992. Struttura geologica. In Ferrari, C. & Panizza, M. (a cura di), Oltre il limite degli alberi: 65-91. Regione Emilia-Romagna, Bologna.
- Tessier, L. 1984. Dendroclimatologie et écologie de *Pinus sylvestris* L. et *Quercus pubescens* Wild dans le Sud-Est de la France. Thèse de Docteur en Sciences. Univ. Aix-Marseille III, Fac. St. Jerome, Marseille.
- Tomaselli, M. 1970. Note illustrative della carta della vegetazione naturale potenziale d'Italia. Min. Agr. Foreste, Collana verde, 27, Roma.
- Tomaselli, M. & Agostini, A. 1994a. A comparative phytogeographic analysis of the summit flora of the Tuscan-Emilian Apennines and of the Apuan Alps (northern Apennines). *Fitosociologia* 26:51-62.
- Tomaselli, M., Manzini, M.L. & Del Prete, C. 1994b. Parco Regionale dell'Alto Appennino Modenese. Foglio ovest. Carta della Vegetazione con itinerari naturalistici (1: 25 000). Regione Emilia Romagna, Bologna.
- Tomaselli, M., 1996. L'ambiente fisico. In: Tomaselli, M., Del Prete, C. & Manzini, M.L., Parco Regionale dell'Alto Appennino modenese: l'ambiente vegetale. Regione Emilia-Romagna, Bologna, pp. 3-20.

- Tomaselli, M. 1997. La vegetazione soprasilvatica dell'Appennino tosco-emiliano. In M. Tomaselli (a cura di), Guida alla Vegetazione dell'Emilia-Romagna. Annali Facoltà Scienze Mat. Fis. Nat. Univ. Parma, Parma.
- Tomaselli, M., Rossi, G., Manzini, M.L. & Del Prete, C. 2002. Parco Regionale del Corno alle Scale. Carta della Vegetazione con itinerari naturalistici (1: 15000). Regione Emilia Romagna, Bologna.
- Tranquillini, W. 1979. Physiological ecology of the alpine timberline. Tree existence at high altitudes with special references to the European Alps. Ecological studies, 31. Springer, Berlin Heidelberg, New York.
- Tranquillini, W. 1982. Frost drought and its ecological significance. Encyclopedia of plant physiology 12B, physiological plant ecology II. Springer, Berlin Heidelberg, New York, pp 379-400.
- Wardle, P. 1971. An explanation for alpine timberline. *NZ. J. Bot.* 9: 371-402.
- Wardle, P. 1974. Alpine timberlines. In: Ives, GD; Barry, RG, Arct. Alp. Environments. Methuen, London, pp 371-402.
- Wardle, P. 1981. Is the alpine timberline set by physiological tolerance reproductive capacity, or biological interactions? *Proc. Ecol. Soc. Aust.* 11: 53-66.
- Wardle, P. 1993. Causes of alpine timberline: a review of the hypotheses. Forest development in cold climates. Plenum Press, New York, pp 89-103.
- Westhoff V. 1983. Man's attitude towards vegetation. In Holzner, W., Werger, M.J.A. e Ikushima, I (ed.), Man's impact on vegetation: 7-24. Junk, Den Haag.
- Wijmstra, T.A. 1978. Paleobotany and climate change. In Gribbin J. (ed) Climatic change. Cambridge University Press, Cambridge, pp 25-45.
- Yamaguchi, D.K. 1983. New tree-ring dates for recent eruptions of Mount St. Helens. *Quaternary Research* 20: 246-250.
- Zukrigl, K. 1975. Zur Geschichte der Hochlagenwälder in der Seetaler Alpen (Steiermark). Eine pollenanalytische Untersuchung des kleinen Moores im Winterleitenkessel. *Cbl Ges Forstwes* 92: 175-188.